

**VŠB – Technická univerzita
Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

Minimalizace spotřeby elektrické energie
ve vnitřních osvětlovacích soustavách.

Minimization of power consumption
in indoor lighting systems.

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Vojtěch Bula

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Minimalizace spotřeby elektrické energie ve vnitřních osvětlovacích
soustavách

Minimization of power consumption in indoor lighting systems

Zásady pro vypracování:

- Základní požadavky na umělé osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech
- Základní požadavky na denní osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech
- Moderní světelné zdroje a svítidla ve vnitřních pracovních prostorech
- Výpočetní metody pro návrhy vnitřních osvětlovacích soustav
- Využití řídicích systémů ve vnitřních osvětlovacích soustavách
- Alternativní návrh osvětlovací soustavy vybraného prostoru
- Vyhodnocení vlivu využití moderních technologií a řízení ve fázi projektu

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Dne: 5.5.2015

Podpis: 

Bc. Vojtěch Bula

Poděkování

„Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáši Novákovi Ph.D. za odbornou pomoc, konzultace a vstřícné rady při zpracování této diplomové práce.“

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá teorií a návrhem umělého osvětlení, výpočty umělého a denního osvětlení, energetickým vyhodnocením, návrhem úspor pomocí náhradních technologií a řídicích systému tří typových místností a porovnáním s reálným stavem. Umělé osvětlení je řízeno v návaznosti na vstupující denní osvětlení přes okenní otvory. Značná úspora elektrické energie je důvodem k regulaci umělého osvětlení.

Podstatou diplomové práce je porovnání výpočtových modelů energetických úspor pomocí řídicích systému nebo náhradou za jiné světelné zdroje. Úspory, které jsou nastíněny investorovi pomocí výpočtových modelů, můžeme považovat pouze za orientační. Potenciál úspor bude zřejmě daleko vyšší.

Klíčová slova

Umělé osvětlení, denní osvětlení, energetické vyhodnocení, úspory elektrické energie, DALI

Abstract

The subject of this thesis is theory and detailed technical design of lighting system, calculations of artificial light and daylight, evaluation of energy consumption, potential energy savings by using modern technologies in three typical rooms and comparison with actual values. Intensity of artificial light is adjusted in accordance with amount of daylight entering the rooms and resulting significant energy saving is main reason for regulation of the artificial light.

This study further focuses on comparison between two energy-saving models: utilization of sophisticated control system and replacing current lighting systems with modern light sources. Proposed energy and financial savings introduced to an investor are only estimated values and real savings can probably lead to rapider return of investments.

Keywords

Artificial light, daylight, evaluation of energy consumption, energy savings, DALI

Seznam použitých zkratek

DALI	Digitálně adresovatelné světelné rozhraní
R_a	index podání barev
I	Svítivosti
φ	Světelný tok
L	Jas
D	Hodnota činitele denní osvětlenosti
D_{\min}	Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti
D_m	Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti
D_{\max}	Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti
r	rovnoměrnost denního osvětlení
ČSN	Česká státní norma
ρ	Odraznost
τ	Propustnost
K	Teplota chromatičnosti
I_x	Intenzita osvětlení
η	Účinnost

Obsah

Úvod	4
1. Základní požadavky na umělé osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech	5
1.1 Rozložení jasu v zorném poli pozorovatelů.....	5
1.2 Osvětlenost.....	5
1.3 Udržovací činitel:.....	6
1.4 Rovnoměrnost osvětlení.....	6
1.5 Oslnění.....	7
1.6 Činitele odrazu povrchů.....	7
1.7 Směrovost osvětlení zřakových úkolů	7
1.8 Barva světla.....	7
1.9 Jasy svítidel.....	8
2. Základní požadavky na denní osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech	10
2.1 Normy určující denní osvětlení.....	10
2.2 Vnější intenzita	10
2.3 Kvantitativní kritérium denního osvětlení	11
2.4 Kvalitativní kritéria denního osvětlení.....	11
3. Moderní světelné zdroje a svítidla ve vnitřních pracovních prostorech	12
3.1 Světelné zdroje.....	12
3.1.1 Tepelné.....	12
3.1.1.1 Žárovka	12
3.1.1.2 Halogenové žárovky	13
3.1.2 Výbojové.....	14
3.1.2.1 Zářivky.....	14
3.1.2.2 Kompaktní zářivky.....	15
3.1.3 LED.....	16
3.1.3.1 COB	16
3.1.3.2 SMD.....	16
3.1.3.3 Výkonové LED diody	18
3.2 Svítidla.....	19
3.2.1 Směr vyzařování svítidel:	19
3.2.1.1 Přímé.....	19
3.2.1.2 Polopřímé.....	20
3.2.1.3 Smíšené.....	20

3.2.1.4	Nepřímé	21
3.2.2	Základní principy usměrnění světelného toku	21
3.2.3	Typy optických částí:	22
3.2.3.1	Mřížky	22
3.2.3.2	Prizma kryty	23
3.2.4	Krytí	24
3.2.4.1	IP	24
3.2.4.2	IK	25
3.2.4.3	Třída ochrany	25
4	Výpočetní metody pro návrhy vnitřních osvětlovacích soustav	27
4.1	Osvětlení místností (prostoru)	27
4.2	Postup při výpočtu:	28
4.3	Základní výpočtové metody světelných výpočtu jsou:	28
4.3.1	Bodová metoda	28
4.3.2	Toková metoda	30
5	Využití řídicích systémů ve vnitřních osvětlovacích soustavách	32
5.1	Analogové (1-10V)	32
5.2	DALI	33
5.2.1	Projektování osvětlení s rozhraním DALI	34
5.3	Senzory	35
5.3.1	Světelné senzory	35
5.3.2	Pohybové senzory	37
5.3.3	Kombinované senzory	38
6	40
	Alternativní návrh osvětlovací soustavy vybraného prostoru	40
6.1	Návrh umělého a denního osvětlení:	40
6.1.1	Učebna	40
6.1.2	Kancelář	44
6.1.3	Chodba	47
7	Vyhodnocení vlivu využití moderních technologií a řízení ve fázi projektu	50
7.1	Energetické porovnání	50
7.2	LENI	50
7.3	Učebna	50
7.4	Kancelář	52
7.5	Chodba	54
7.6	Cenové porovnání a výpočet návratnosti	56

8	Závěr	61
9	Seznam obrázků	62
10	Seznam tabulek	64
11	Použité zdroje	65
12	Seznam příloh	67

Úvod

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání několika způsobu osvětlení typových místností, vzhledem k energetické náročnosti navržené osvětlovací soustavy.

V diplomové práci jsou porovnány dva typy světelných zdrojů, a to trubicové a LED svítidla. Návrh umělého a denního osvětlení vychází z českých norem ČSN EN 12 464-1 a ČSN 73 0580. Na základě těchto předpokladů je vytvořeno energetické vyhodnocení náročnosti soustav v programu DIALux a je porovnáno, jak se mění doba návratnosti při změně světelného zdroje nebo použití regulace inteligentním řídicím systémem na konstantní hladinu osvětlenosti. Součástí práce je i ověření osvětlovací soustavy měřením.

1. Základní požadavky na umělé osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech

Základní požadavky na umělé osvětlení udává norma ČSN EN 12 464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Norma udává údaje o intenzitě osvětlení E_m pro různá pracovní místa a v jaké rovině se má měřit. Dále zde nalezneme jaká má být rovnoměrnost U_0 v této místnosti, podání barev R_a a oslnění U_{gr} . Vše je zde v tabulce, která je rozdělena podle do různých pracovišť a poté podle do druhu prostoru, úkolu nebo činnosti. Není-li zde uvedená potřebná činnost, můžeme ji zařadit do skupiny podobně zrakově náročných operací.

[1]

1.1 Rozložení jasů v zorném poli pozorovatelů

Veliké rozdíly v jasech povrchů vnitřního prostoru vedou k častější adaptaci zraku, která způsobuje únavu a zhoršuje zrakovou pohodu a zrakový výkon. Z těchto důvodů je důležité, aby ve vnitřních prostorech bylo co nejlepší rozložení jasů. Při umělém osvětlení se doporučuje rozložení jasů, které jsou závislé na rozložení osvětlenosti a činitelích odrazu světla.

[2]

Jas L [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] (v určitém směru na daném místě povrchu) je definován rovnicí:

$$L = \frac{dI}{d\Omega \cdot dS \cdot \cos\alpha} \quad (\text{cd}/\text{m}^2; \text{cd}, \text{m}^2) \quad (2.1)$$

I (cd) kandela je kolmá svítivost $1/60\text{cm}^2$ absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny (2046,5 K) za normálního tlaku.

1.2 Osvětlenost

Osvětlenost a rozložení osvětlenosti v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají velký vliv na to, jak rychle, pohodlně a bezpečně osoba vykonává a vnímá zrakový úkol. Hodnoty osvětlenosti jsou udržované osvětlenosti a zajišťují potřebný zrakový výkon a zrakovou pohodu.

V normě ČSN EN 12 464-1 jsou uvedeny hodnoty udržované osvětlenosti v místě zrakového úkolu na příslušné srovnávací rovině. Průměrná naměřená nebo vypočtená hodnota nesmí během životnosti osvětlovací soustavy klesnout pod tuto normou udávanou hodnotu.

V normálních podmínkách osvětlení se požaduje přibližně 20lx, při nichž právě začíná rozlišování rysů lidského obličeje. Tato hodnota byla přijata jako nejnižší pro řadu osvětleností. Doporučená řada osvětleností (v luxech) je:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

Hodnota osvětlenosti může být upřesněna nejméně o jeden stupeň řady osvětlenosti (nahoru nebo dolů), liší-li se zrakové podmínky od normálních předpokladů.

Pro bodový zdroj o svítivosti I [cd] s paprsky dopadajícími pod úhlem α [°] k normále plochy ve vzdálenosti r [m] platí:

$$E = I * \frac{\cos \alpha}{r^2} \text{ (lx; cd, m}^2\text{)} \quad (2.2)$$

Ze vztahu vyplývá, že osvětlenost se úměrně snižuje se zvětšujícím se úhlem dopadu a nepřímo úměrně s kvadrátem vzdálenosti mezi zdrojem a srovnávací rovinou. V praxi je osvětlenost ovlivněna mnoha dalšími faktory souhrnně vyjádřenými udržovacím činitelem. Intenzita osvětlení je teoretickou veličinou. [3]

1.3 Udržovací činitel:

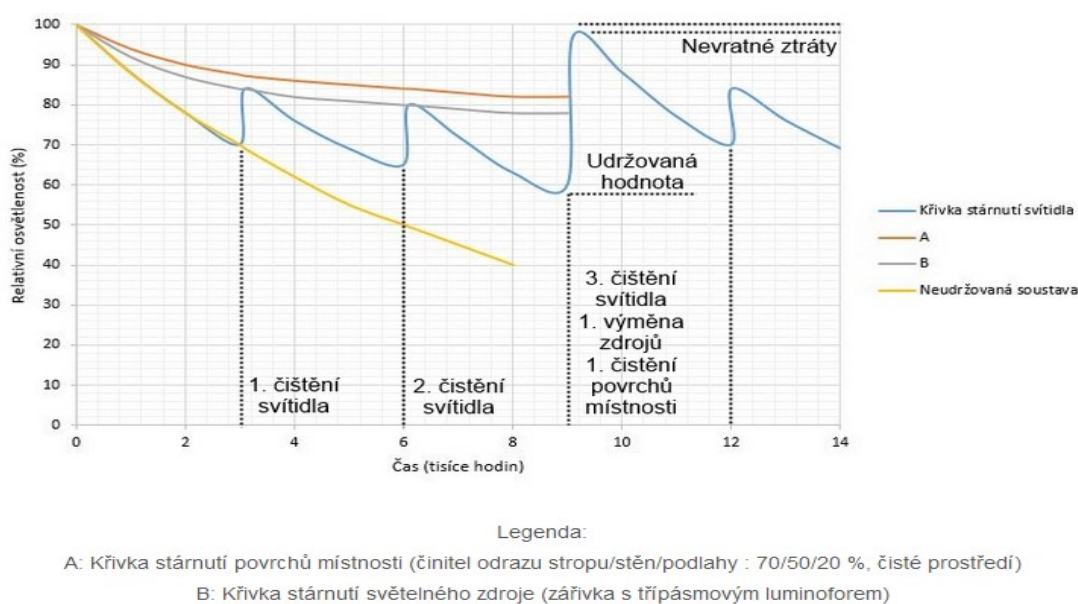
$$Z = Z_z * Z_s * Z_p * Z_{fz} \text{ (-)} \quad (2.3)$$

Z_z je součinitel stárnutí světelných zdrojů

Z_s je součinitel znečištění zdroje

Z_p je součinitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru

Z_{fz} je součinitel funkční spolehlivosti zdroje



Obrázek 1 Změna osvětlenosti v průběhu života osvětlovací soustavy. [28]

[4]

1.4 Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost udává opět norma, pro každý úkon se rovnoměrnost liší, ale měla by být co nejvyšší. Rovnoměrnost bezprostředního okolí zrakového úkolu nesmí být nižší než hodnota udávána normou. Poměr průměrné hodnoty osvětlenosti mezi sousedícími propojenými prostory by neměl být menší než 1:5 [2]

1.5 Oslnění

Index oslnění svítidel osvětlovací soustavy vnitřních prostor je stanoven jednotným systémem hodnocení oslnění tabulkovou metodou CIE (UGR) podle vzorce:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (-) \quad (2.3)$$

L_b je jas pozadí v cd.m^{-2}

L je svíticí část každého svítidla ve směru očí pozorovatele v cd.m^{-2}

Ω je prostorový úhel svíticí části každého svítidla vzhledem k očím pozorovatele

P je činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odklonu od směru pohledu

1.6 Činitele odrazu povrchů

Dle ČSN EN 12 464-1 je doporučený rozsah činitelů odrazu hlavních rozptýlných povrchů v místnosti stanoven takto:

- Strop: 0,7 až 0,9;
 - Stěna: 0,5 až 0,8;
 - Podlaha: 0,2 až 0,4.
- [1]

1.7 Směrovost osvětlení zrakových úkolů

Světlo, které má určitý směr, může napomoci odhalit detaily zrakového úkolu, dále nám pak může pomoci zlepšit celou viditelnost úkolu a s tím spojené jeho vykonání. Je zapotřebí vyhnout se závojovému odrazům a oslnění odrazem. Příliš ostré stíny však mohou zhoršit rozlišovací schopnosti a tím zhoršit prostředí pro vykonávání zrakového úkolu.

1.8 Barva světla

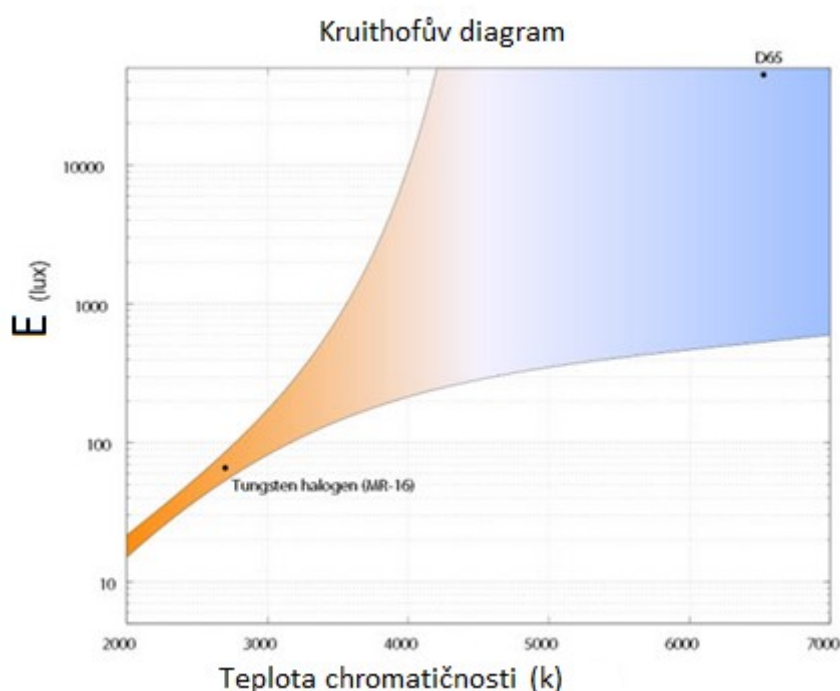
Barvu světla světelných zdrojů a denního světla lze popsat pomocí dvou parametrů, které je nutno hodnotit nezávisle na sobě: barevný tón světla a kvalita podání barev.

1.8.1 Barevný tón světla

Volba barevného tónu světla je zejména záležitostí psychologie daného prostředí. Pro prostory v chladných klimatických podmínkách je vhodnější zvolit teplý zdroj světla, naopak v teplých klimatických podnebí je vhodné zvolit studenější tón světla. Volba dále záleží na úrovni osvětlení, barevnosti nábytku, koloritě povrchů, ale taky na prostředí, pro které má být prostor využíván a jakou náladu by měl prostor vytvářet.

Aby působil osvětlený prostor přirozeně a příjemně, je potřeba volit teplotu chromatičnosti s ohledem na hladiny osvětlenosti. Závislost mezi těmito parametry je vysvětlována tzv. fylogenetickým přizpůsobením zraku přírodním podmínkám.

To je dáno změnou podmínek v pohlcení a rozptylu slunečního světla v zemské atmosféře v průběhu dne a projevuje se teplejším a méně intenzivním denním světlem ráno a večer. Tuto skutečnost vystihuje tzv. Kruithoffův diagram. V něm jsou tři oblasti, ve kterých světlo s danými parametry působí různým dojmem (jak je zřetelné ze samotného diagramu). Platnost tohoto diagramu se pokoušelo potvrdit mnoho výzkumů, ale zpravidla nebyly úspěšné. Pro většinu vnitřních prostorů není teplota chromatičnosti v současných normách povinně předepsaným parametrem. [2]



Obrázek 2 Kruithoffův diagram [5]

1.8.2 Index podání barev R_a [–]

Světelné zdroje mohou mít stejnou teplotu světla, ale přitom vykazují zcela jiné vlastnosti podání barev. Tento faktor je určen pomocí indexu podání barev. Index podání barev určuje jak dalece je spektrum světelného zdroje schopno věrohodně zobrazit barvy. Index podání barev se pohybuje v rozmezí 0-100. Tento parametr je zajištěn pomocí průměrování indexů podání zkušebních barev. Nejvyšší podání barev dosahujeme pomocí klasické žárovky, která má index podání barev R_a 100, naopak na druhém konci stojí monochromaticky vyzářující nízkotlaká sodíková výbojka s indexem podání barev R_a 0.

1.9 Jasy svítidel

Je to jeden z nejdůležitějších parametrů při hodnocení oslnění osob, které jsou oslňovány svítidly. Měření jasu se měří pomocí goniofotometru nebo pomocí jasoměru. Jasy svítidel jsou omezovány mechanickým odcloněním světelných zdrojů clonami a stínidly nebo rozprostřením velkého povrchového jasu světelných zdrojů na větší plochu.

Rozložení jasů:

Adaptace zraku je určena rozložením jasu v zorném poli. Viditelnost úkolu je výrazně ovlivněna adaptací zraku. Je-li adaptační jas dobře vyvážen, dochází ke zlepšení zrakové ostrosti, kontrastní citlivosti a účinnosti zrakových funkcí. Zraková pohoda je rovněž ovlivněna rozložením jasu v zorném poli. Abychom docílili zrakové pohody je nutno vyloučit:

- Vysoké jasy, které mohou zvětšit oslnění

- Vysoké kontrasty jasů, které mohou působit únavu v důsledku neustálé readaptace zraku

- Naopak příliš nízké jasy rovněž vedou k únavě z důvodu monotónního nestimulujícího pracovního prostředí [2]

2. Základní požadavky na denní osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech

Denní světlo je významnou fyziologickou a psychologickou potřebou pro lidský organismus a je pro lidské tělo nepostradatelné a nezaměnitelné. Při dlouhodobém působení denního světla jsou i přes technický pokrok umělého osvětlení rozdíly mnohostranné (podání barev, regulace denních rytmů mnoha orgánů v lidském těle, vliv na psychickou pohodu při vizuálním kontaktu v interiéru s okolním prostředím).

Denní světlo musí být využito v místech s trvalým pobytem osob ve vnitřních prostorech budov. Je to pobyt, který trvá déle než 4 hodiny v průběhu jednoho dne (při denním světle) a opakuje se více než 1x týdně.

Denní osvětlení ve vnitřních prostorech budov se navrhuje podle zrakových činností, které jsou v daných prostorech prováděny. Pokud je denní světlo využíváno pro různé zrakové činnosti, musí být splněny požadavky pro nejnáročnější zrakovou činnost. [6]

2.1 Normy určující denní osvětlení

- ČSN 730580-1 Denní osvětlení budov – základní požadavky
- ČSN 730580-2 Denní osvětlení budov – Obytné budovy
- ČSN 730580-3 Denní osvětlení budov – Školy
- ČSN 730580-4 Denní osvětlení budov – Průmyslové objekty

2.2 Vnější intenzita

Vnější intenzita osvětlení se mění nejen v průběhu dne, ale i v průběhu celého roku. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti D_{\min} musí být splněna ve všech kontrolních bodech srovnávací roviny vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti D_m musí být splněna v případě využití horního denního osvětlení.

Při posuzování energetické náročnosti osvětlení budovy je jedním z hlavních parametrů, určujících výslednou energetickou náročnost, doba provozu t pro dané časové období. V případě použití rychlé metody lze vystačit s údaji určenými normou ČSN EN 15 193. Jedná se ale o údaje, které jsou primárně určeny k posuzování energetické náročnosti budov stejného typu mezi sebou. Pokud však budeme chtít energetickou náročnost hodnocené budovy vyčíslit co možná nejpřesněji, je nutno vzít v úvahu, že různé zóny budovy mohou být během dne provozovány v různém časovém rozmezí. Je tedy nutné vypracovat denní plán místnosti. [7]

2.3 Kvantitativní kritérium denního osvětlení

Kvantitativní kritérium denního osvětlení je stanoveno pomocí činitele denní osvětlenosti $D[\%]$:

$$D = \frac{E}{E_h} \times 100 \quad (\%; lx, lx) \quad (2.4)$$

$E[lx]$ je osvětlenost naměřen v kontrolním bodě srovnávací roviny v interiéru a $E_h[lx]$ je osvětlenost nezastíněné venkovní vodorovné roviny.

Poměr osvětlenosti v interiéru a osvětlenosti na venkovní nezastíněné vodorovné rovině je činitel denní osvětlenosti. Velikost činitele denní osvětlenosti je proměnlivá hodnota, která je závislá na ročním období, množstvím oblačnosti a dobou mezi východem a západem slunce. [8]

2.4 Kvalitativní kritéria denního osvětlení

Dostatečné množství denního světla nám ještě nemusí zajistit zrakovou pohodu, ze které vychází většina požadavků na osvětlení. Světlo vstupující do vnitřního prostoru musí odpovídat určité kvalitě. Jedním z nejdůležitějších kvalitativních požadavků je rovnoměrnost denního osvětlení $r[-]$, která je vyjádřena podílem minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti změřené v kontrolních bodech určité srovnávací roviny: [8]

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}}. \quad (-; \%, \%) \quad (2.5.)$$

2.4.1. Rozložení světelného toku

Nejvhodnější je ve většině případu osvětlení zleva nebo zleva a zepředu.

2.4.2. Rozložení jasů ploch v zorném poli

Kontrasty a jasy v zorném poli pozorovatele mohou být nepříjemné až nebezpečné, proto je důležité se těmto jasům v zorném poli pozorovatele vyhnout za účelem soustředění se na předmět zrakové činnosti.

2.5 Zábřana oslnění

Osvětlovací otvory by neměly být umístěny v zorném poli pozorovatele. Pro kvalitní zabránění oslnění je nutno použít pevné nebo pohyblivé zařízení pro omezení nežádoucího přímého slunečního svitu

Využitím denního světla lze dosáhnout výrazných úspor elektrické energie. Vytvořené časové plány pro jednotlivé typy budov umožňují stanovit úspory elektrické energie na osvětlení pro různé typy řízení osvětlovací soustavy. [2]

3. Moderní světelné zdroje a svítidla ve vnitřních pracovních prostorech

3.1 Světelné zdroje

Světelné zdroje lze rozdělit:



Obrázek 3 Rozdělení světelných zdrojů.

3.1.1 Tepelné

3.1.1.1 Žárovka

Žárovka je první světelný zdroj, který využívá základní technologii světla. Žárovka je skleněná baňka, ve které můžeme vidět stočené tenké vlákno. Toto vlákno je z wolframu a tvoří nejdůležitější součást žárovky. Vláknem se průchodem elektrického proudu zahřívá. Zahřáté těleso vyzařuje elektromagnetické záření. Jistě jste viděli do červena rozpálené topné tělísko nebo jak kovář ková železo rozžhavené do běla. Barva vyzařovaného světla závisí na teplotě tělesa. Při zahřívání tělesa nejprve nepozorujeme žádné vyzařované světlo, cítíme jen teplo. Těleso vyzařuje elektromagnetické záření v infračervené oblasti spektra. Při teplotě asi 600°C se nám začne zdát těleso červené. Při dalším zahřívání, asi na 1300°C, bude již vyzařované světlo bílé.

Dnešní typ žárovek používá spirálové vlákno. Tento způsob redukuje tepelné ztráty a má vyšší účinnost. Baňky jsou vyčerpány na vysoké vakuum, které chrání žhavé vlákno před přísunem kyslíku a s tím spojené hoření vlákna. Současné žárovky jsou plněny inertními plyny, které plní stejnou funkci jako vakuum. Měrný výkon žárovek dnes dosahuje přibližně 10lm/W. Vyrůstá-li teplota vlákna, vyrůstá také teplota chromatičnosti světla. Životnost žárovek se stále prodlužuje dokonalejšími technologiemi vinutí vlákna a plněním inertními plyny. Uváděná životnost dnešních žárovek je 1000h. Stmívání klasických žárovkových zdrojů lze provádět pomocí jednoduchých nenákladných stmívacích zařízení. Díky vysokému

indexu barevného podání a nízké teplotě chromatičnosti dosahujeme nejdokonalější barevné podání lidské kůže. Tyto zdroje jsou zejména v domácnostech, ale i ve společných prostorech, hojně zastoupené pro své výjimečné vlastnosti. Jsou vyráběny v různých tvarech, výkonech a dodávají interiéřům jedinečnou atmosféru.

[4]



Obrázek 4 Žárovka [9]

3.1.1.2 Halogenové žárovky



Obrázek 5 Halogenová žárovka [9]

Halogenové žárovky mají až o 20% vyšší účinnost než žárovky standardní. Wolfram se u klasických žárovek vypařuje a usazuje se na povrchu baňky. Tento jev má za následek snižování světelného toku, odpařování wolframu způsobuje ztenčování vlákna, až dojde k jeho přepálení. Halogenový plyn uvnitř baňky má za následek, že vypařený wolfram se vlivem tepelného pole vrací zpět, kde dochází k usazování na vlákno žárovky. Tento jev prodlouží

životnost žárovky a současně nedochází ke snižování světelného toku žárovky. Tento kruhový proces je hlavní předností halogenových žárovek. Halogenové žárovky poskytují bílé světlo s teplotou chromatičnosti až 3200K. Index podání

barev je stejný jako u klasických žárovek $R_a = 100$. Životnost halogenových žárovek je přibližně dvojnásobná, výrobci udávají dobu až 2000h. Měrný výkon dosahuje hodnot 22lm/W. Halogenové žárovky jsou vyráběny v poměrně široké škále wattáží, s různými vyzařovacími úhly, na nízké napětí ale i na 230V.

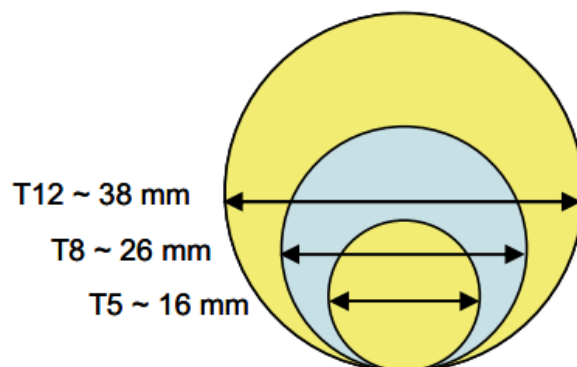
[4]

3.1.2 Výbojové

3.1.2.1 Zářivky

Zářivky lze rozdělit na T5 a T8 a T12.

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, vyzařují především v ultrafialové oblasti elektromagnetického vlnění. Toto záření je následně pomocí luminoforu transformováno na viditelné světlo. Ve skleněné trubici pomocí elektrického pole jsou mezi elektrodami vybuzené páry rtuti k emisím ultrafialového záření. Vnitřní strana trubice je pokryta speciální látkou tzv. luminoforem, který



Obrázek 6 Průměr trubice

transformuje ultrafialové záření na viditelné světlo. Pokud zvolíme správnou volbu složení luminoforu, můžeme docílit různých barevných tónů světla. Každá výbojka potřebuje ke své činnosti předřadné přístroje. Pro provoz se startérem je napětí na zářivce nižší než napětí napájecí. Tlumivka slouží k tomu, aby převzala rozdíl napětí a omezila proud tak, aby zářivka dostávala pro svůj provoz optimální hodnotu proudu. Provoz pomocí tlumivky a startéru je již v dnešní době zastaralý a neekonomický, proto se dnes používají pro optimální provoz elektronické předřadníky. Elektronické vysokofrekvenční předřadníky plně nahrazují konvekční předřadníky a startéry. Tato technologie zaručuje ještě větší hospodárnost a delší dobu životnosti. Dnešní zářivky T5 mají průměr trubice pouhých 16mm, jsou určeny výhradně pro provoz s elektronickými předřadnými systémy. Dosahují měrného výkonu až 106lm/W. Oproti dříve používaným trubicím T8 dosahujeme úspory až 20%. Životnost je značně ovlivněna počtem sepnutí, proto je nutno tyto zdroje navrhovat v místech, kde k tomuto jevu nedochází. Životnost lineárních zářivek dosahuje například pro trubici OSRAM HO XT/830 až 45000h. Index barevného podání přesahuje hranici $R_a = 80$, což je dostačující barevné podání pro téměř všechna využití. Nevýhodou zářivek je nutnost použití startéru a tlumivky nebo elektronického předřadníku. Jmenovitého světelného toku nedosáhneme okamžitě po sepnutí obvodu jako u LED, klasických nebo halogenových žárovek, ale až po uplynutí cca 3 minut. Zářivky nejsou vhodné pro osvětlování venkovního prostředí kvůli své závislosti na okolní teplotě. U osvětlovacích soustav, které jsou vybaveny konvekčním předřadným systémem, hrozí vznik stroboskopického jevu, kterého je nutno se vyvarovat.

[4]



Obrázek 7 Zářivky[10]

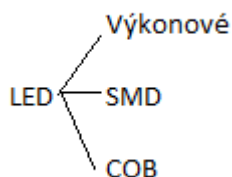
3.1.2.2 Kompaktní zářivky

Princip funkce je shodný s principem lineární zářivky. Díky rozdělení na několik malých trubiček bylo umožněno zmenšit velikost kompaktních zářivek na velikost klasické žárovky. Veškeré kompaktní zářivky dosahují úspory až 80% elektrické energie a až 10 krát delší životnost oproti žárovkám. Předřadníky jsou používány jako součást výrobku nebo jako externí. [4]



Obrázek 8 Kompaktní zářivky[11]

3.1.3 LED



Obrázek 9 Rozdělení LED

3.1.3.1 COB

Světelné COB LED diody využívají koncentraci jednotlivých LED čipů na malé ploše, kdy jsou LED čipy umístěny na keramickém plošném spoji a pokryté vrstvou luminoforu. Tím je zajištěn rovnoměrný rozvod tepelných emisí z LED čipů, je možné integrovat LED pole o vyšší hustotě a je také dosaženo vyššího světelného výkonu v porovnání s konvenčními LED diodami.

Další výhodou technologie Chip on Board je rovnoměrná emise světla z celé plochy čipu i při relativně vyšších provozních teplotách. Nyní se tato technologie dostává do masové produkce a budeme se s ní setkávat stále častěji, protože brzy nahradí starší generace LED diod.



Obrázek 10 COB LED [12]

3.1.3.2 SMD

SMD (Surface Mounted Device) dioda je v současnosti nejvíce rozšířená varianta v průmyslovém použití. Díky miniaturizaci a zvyšování výkonů dokáže poskytnout uspokojivé světelné výkony. Její hlavní nevýhodou je náchylnost na teplotu, která může snížit její životnost dramaticky. SMD LED diodami se osazují LED moduly, které převážně nahrazují ve svítidlech trubice T5 a T8. Tyto moduly se vyrábějí v různých tvarech nebo v podobě trubic, které se osazují do patiček svítidel přímo místo trubic.



Obrázek 11 SMD LED [13]



Obrázek 12 LED Trubice [14]

LED 5630 s příkonem 0,5W a výkonem až 155lm/W

LED trubice



Obrázek 13 LED Modul Osram 270x270 [11]

LED panel se nejčastěji umísťuje do svítidel, kde byly původně umístěny 2-4 kusy zářivkových svítidel. Velikost např. 270x270mm „Osram prevaLED“. Svítidla nejčastěji obsahují opálový nebo mikropyramidový kryt.

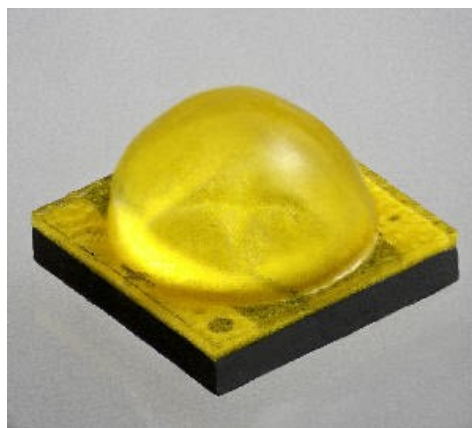


Obrázek 14 LED modul Osram 280mm [11]

Tento LED modul osazen SMD chipy na dlouhém tenkém boardu, se nejčastěji používá ve svítidlech, kde předtím byla použita 1 trubice nebo linie trubic. Moduly se nejčastěji umísťují a propojují za sebou.

3.1.3.3 Výkonové LED diody

LED diody o příkonu od 1W výše, dioda ideální pro aplikace s nejvyššími požadavky na světelný tok a účinnost. Až 170lm/W při 65mA, barevné teplotě 5000K a CRI>80 „Cree XH-G“ Velkou výhodou je velké množství světelného toku na malé ploše, ale nevýhodou je vyšší teplota, kterou je nutné uchladiť. Dříve používáno v downlightech. Nyní často nahrazováno LED COB LED moduly, nejčastěji osazovány do několika desítek W.



Obrázek 15 LED CREE XT-E [15]

3.2 Svítidla

3.2.1 Směr vyzařování svítidel:

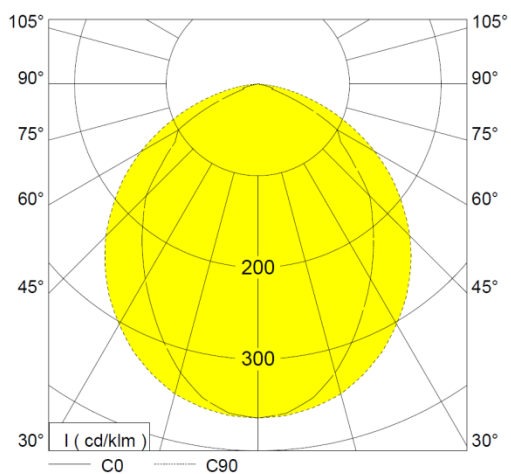


Obrázek 16 Rozdělení vyzařování světelného toku svítidel

Při tomto dělení záleží na druhu použitého svítidla. Výběr záleží převážně na typu místností, výšce stropu a dalších parametrech. Nejlépe na člověka působí polopřímé osvětlení.

3.2.1.1 Přímé

Všechno světlo ze světelného zdroje dopadá na podlahu nebo pracovní plochu.



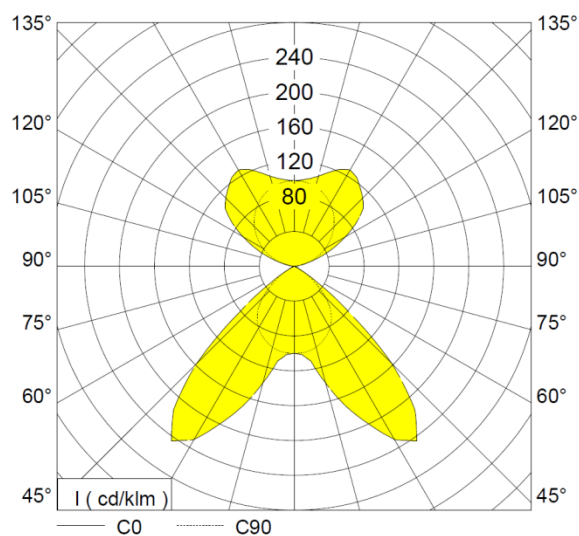
Obrázek 17 křivka svítivosti svítidla [16]



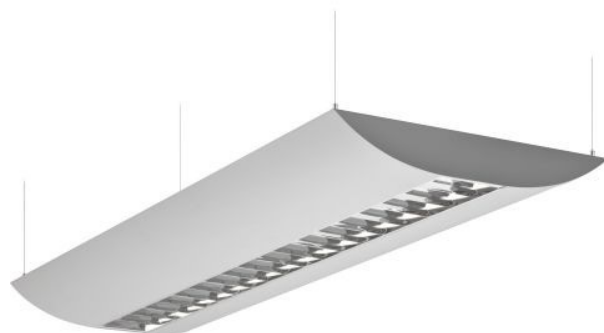
Obrázek 18 Svítidla Kvadra 53W [16]

3.2.1.2 Polopřímé

Zde část světla dopadá na strop a stěny.



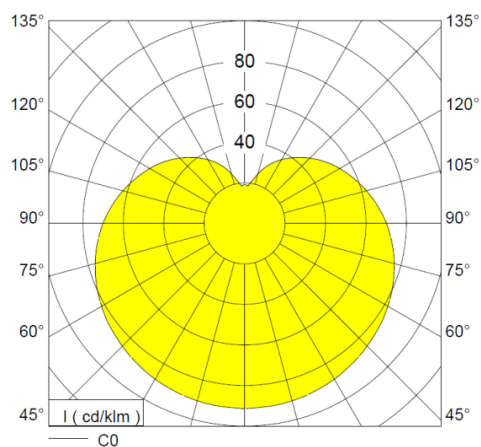
Obrázek 19 Křivka svítivosti svítidla [16]



Obrázek 20 Svítidlo Delta T [16]

3.2.1.3 Smíšené

Světelný tok je rozptýlen do prostoru všemi směry.



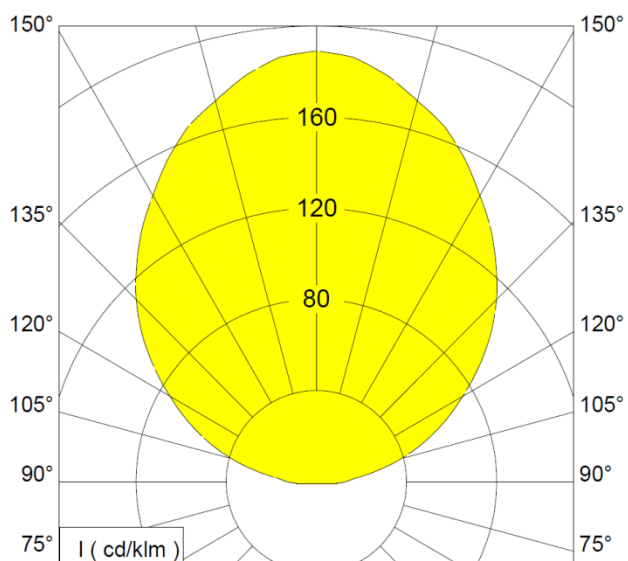
Obrázek 21 Křivka svítivosti svítidla [17]



Obrázek 22 Svítidlo LUNEA Rendl [17]

3.2.1.4 Nepřímé

Všechno světlo dopadá na strop a prostor je osvětlen odraženým světlem od stropu.



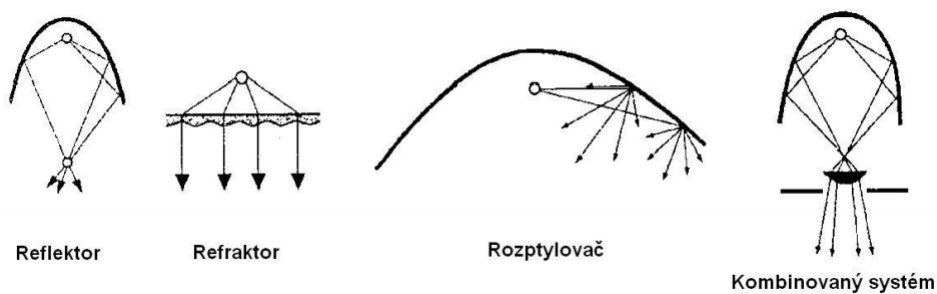
Obrázek 23 Křivka svítivosti svítidla [16]



Obrázek 24 Svítidla ALFA [16]

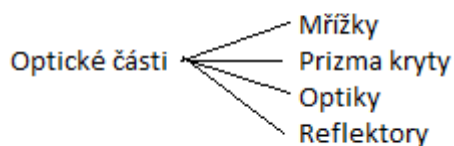
3.2.2 Základní principy usměrnění světelného toku

U většiny svítidel se k usměrnění světelného toku světelných zdrojů používají následující principy:



Obrázek 25 Usměrnění světelného toku [2]

3.2.3 Typy optických částí:



Obrázek 26 Rozdělení optických částí

3.2.3.1 Mřížky



Obrázek 27 Parabolická mřížka [16]

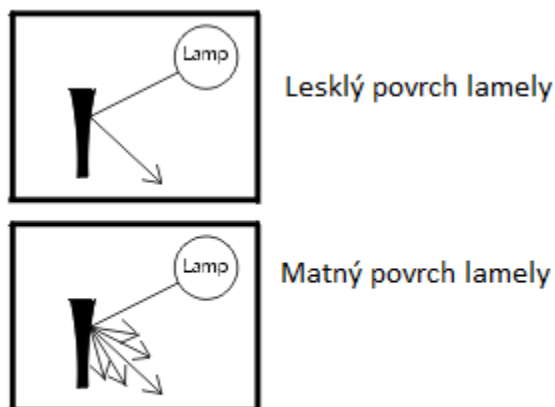
Mřížky se převážně vyrábějí z hliníků, pokovaného plastu a jim podobným materiálům. Tvar je převážně parabolický nebo klínovitý.

Parabolická mřížka je základem parabolické konceptu. Vlastnosti parabolické mřížky je schopnost přeměrovat paprsek světla směrem dolů ven ze svítidla na osvětlovanou plochu.

Parabolická mřížka má čtyři základní funkce. 1. Zakrýt světelný zdroj. 2. Směrovat světelný tok do určeného prostoru. 3. Snížení oslnění a 4. Snížení jasů. Základem pro výkon a výsledný tvar světelné křivky parabolické mřížky osvětlení je tvar lamely.

Tento typ optické části se nejvíce hodí do kanceláří, prostor s obchodní činností, učeben. Použitý materiál je lesklý nebo matný. Matný má menší účinnost, ale lepší oslnění oproti lesklému. Při použití velmi kvalitního materiálu můžeme dosáhnout účinnosti svítidla u trubice T5 až 85% a při použití LED zdroje 95%.

[2][18]



Obrázek 28 porovnání parabolických mřížek [19]



Obrázek 29 Svítidlo s dvojitou parabolickou mřížkou [16]

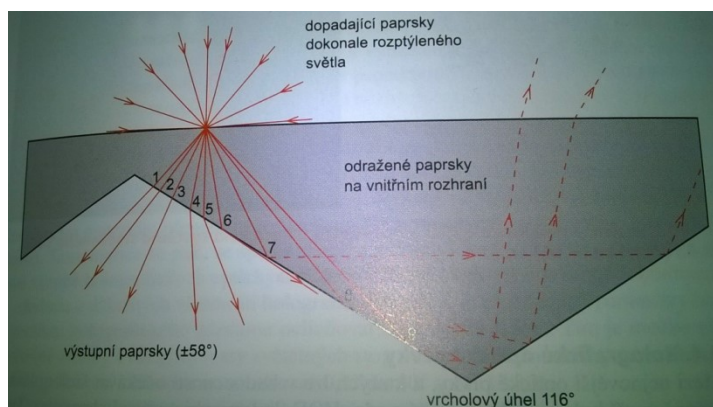
3.2.3.2 Prizma kryty

Opálový, satine kryt:

Svítidla opatřená tímto krytem jsou vhodná např. do nemocnic na komunikace, kde jsou přepravováni pacienti na lůžku. Výhodou těchto svítidel je možnost užití i v prašnějších místech, jelikož optický kryt lze jednoduše čistit. Účinnost těchto svítidel je nižší oproti mřížkám, u trubic jsou řádově do 60%. U LED svítidel převážně záleží na propustnosti krytu. Čím propustnější kryt, tím musí svítidlo obsahovat více světelných bodů, aby světelný tok byl rovnoměrně rozptýlen po celé vyzařovací ploše.

Mikropyramidový kryt:

Posledním trendem v osvětlovací technice - Mikroprismatický difuzor (velice čirý difuzor s mikropyramidovou strukturou), který zajišťuje omezení jasu svítidla $L < 1000 \text{ cd/m}^2$ nad 65° . Omezuje jas i v úhlech, kde to není možné zajistit optickou mřížkou. Svítidlo tak poskytuje optimální distribuci světla a zábranu oslnění v souladu s platnou normou pro osvětlení kanceláří. Ve svítidle je z optických důvodů umístěn hrubší stranou ven!



Obrázek 30 Prostup světla mikropyramidovým krytem [2]

Užití: kanceláře, kanceláře s monitory položenými na plochu, prostory s obchodní činností, banky a prostory podobné. [18][2]

3.2.4 Krytí

3.2.4.1 IP

Udává ochranu proti vniku pevných těles a vody. Krytí nám pomáhá chránit osoby před dotykem živé části a chrání svítidlo před vnikem vody a prachu a tím zničení svítidla. Základní a nejpoužívanější krytí svítidel je **IP20**. Krytí je udáváno písmeny IP a za nimi dvěma číslicemi, kde první číslo charakterizuje ochranu proti vniku pevné části. Druhá číslice charakterizuje vnik vody do svítidla. [4]

Tabulka 1 Stupně ochrany svítidel

Stupně ochrany před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles udávané první číslicí:	
IP0X	Nechráněno.
IP1X	Proti vniknutí pevných cizích těles o průměru 50mm a větších a před dotykem hřbetu ruky.
IP2X	Proti vniknutí pevných cizích těles o průměru 12,5mm a větších a před dotykem prstu.
IP3X	Proti vniknutí pevných cizích těles o průměru 2,5mm a větších a před dotykem nástroje.
IP4X	Proti vniknutí pevných cizích těles o průměru 1mm a větších a před dotykem drátu.
IP5X	Proti prachu a před dotykem drátu.
IP6X	Zařízení je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem.
Stupně ochrany proti vniknutí vody udávané druhou číslicí:	
IPX0	Nechráněno.
IPX1	Svisle kapající.
IPX2	Kapající ve sklonu 15°.
IPX3	Kropení, déšť.
IPX4	Stříkající.
IPX5	Tryskající.
IPX6	Intenzivně tryskající.
IPX7	Dočasné ponoření.
IPX8	Trvalé ponoření.

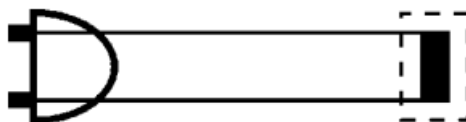
3.2.4.2 IK

Udává mechanickou odolnost proti nárazu. Udává se v joulech, tedy jakou energii nárazu musí svítidlo zvládnout. Vyjadřuje se dvěma číslicemi od 0 do 10, kdy IK00 je bez ochrany a při IK10 musí svítidlo zvládnout energii nárazu 20J. [20]

3.2.4.3 Třída ochrany

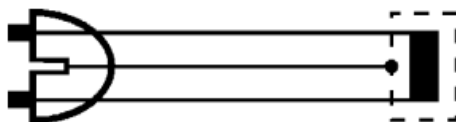
Z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem zatřídí norma ČSN 33 0600 elektrická zařízení do následujících tříd. Čísla tříd vyjadřují, jak je bezpečnosti dosaženo. [21]

Třída 0 má pouze základní izolaci, nemá žádný prostředek pro připojení ochranného vodiče na neživou část. Používání těchto spotřebičů je v České republice zakázáno. [21]



Obrázek 31 Třída ochrany 0 [21]

Třída 1 má všude alespoň základní izolaci, má ochrannou svorku (kontakt) pro připojení ochranného vodiče na neživou část. Pohyblivý přívod je trojžilový. Tento způsob připojení používá většina svítidel. [21]

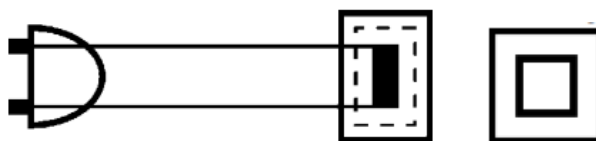


Obrázek 32 Třída ochrany 1 [21]



Obrázek 33 Schématická značka zemnění [21]

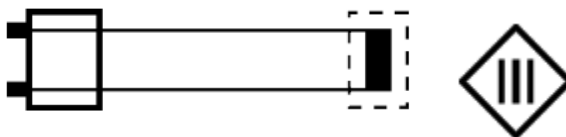
Třída 2 má všude dvojitou nebo zesílenou izolaci, nemá zařízení k připojení ochranného vodiče, protože není potřebný. Celý povrch je z izolantu nebo pro větší mechanickou pevnost může mít některé části kovové, vždy oddělené od živých částí dvojitou nebo zesílenou izolací. Pohyblivý přívod je dvoužilový. [21]



Obrázek 34 Schématická značka třídy ochrany 2 [21]

Obrázek 35 Třída ochrany 2 [21]

Třída 3 je určena pro připojení ke zdroji bezpečného malého napětí tzn. je konstruován pro napájení ze zdroje SELV. Zařízení musí být tedy navrženo tak, že je lze připojit pouze ke jmenovitému napětí, které nepřesáhne 50V střídavých nebo 120V stejnosměrných. Pohyblivý přívod je dvoužilový a je opatřen nezáměnnou vidlicí.



Obrázek 36 Schématická značka třídy ochrany 3 [21]

Obrázek 37 Třída ochrany 3 [21]

4 Výpočetní metody pro návrhy vnitřních osvětlovacích soustav

Při projektování a navrhování umělého osvětlení vnitřních prostor využíváme celou řadu světelně-technických výpočtů, pomocí kterých dokážeme lépe navrhnout osvětlovací soustavu. Pokud dobře navrhujeme osvětlovací soustavu, dokážeme snížit jak investiční tak provozní náklady na osvětlení.

4.1 Osvětlení místností (prostoru) je:

1. Celkové - rovnoměrné osvětlení prostoru bez ohledu na zvláštní místní požadavky.
2. Odstupňované - v místě kde se vykonává určitá práce je potřeba zvýšit intenzitu osvětlení
3. Místní – doplňuje celkové osvětlení a je většinou samostatně ovládané. Může být bodové - zvyšuje osvětlenost na určitém pracovním místě, kde je potřeba navýšit osvětlenost.
4. Kombinované - celkové nebo odstupňované osvětlení je doplněno osvětlením místním. [22]



Obrázek 38 Rozdělení osvětlení [9]

Snahou výpočtu je:

- Zjistit jaký výkon a kolik světelných zdrojů, svítidel je potřeba, aby osvětlení v místnosti vyhovovalo požadavkům a normě. A dále zjistit celkový instalovaný příkon svítidel a pokusit se ho co nejvíce minimalizovat.

4.2 Postup při výpočtu:

- a) Stanoví se velikost půdorysné plochy S a poloha srovnávací roviny.
- b) Určí se velikost osvětlenosti E_m dle norem ČSN pro konkrétní zrakový úkol.
- c) Zvolí se druh světelného zdroje.
- d) Zvolí se vhodný typ svítidla z katalogových listů.
- e) Stanoví se světelný tok jednoho svítidla.
- f) Stanoví se činitel využití osvětlovací soustavy η , který závisí na tvaru fotometrické plochy svítivosti svítidel, rozměrech osvětlovaného prostoru a činitelích odrazu světelně činných ploch. Hodnota činitele využití se dá zjistit z tabulek, které jsou součástí katalogového listu každého svítidla.
- g) Určí se udržovací činitel z , který charakterizuje míru stárnutí, znečištění a
- j) Proveďte se vhodné (zpravidla rovnoměrné) rozmístění svítidel nad osvětlovanou rovinu na základě doporučujících pravidel pro rozmístění svítidel.
- k) Pro počet svítidel se stanoví místně průměrná a časově minimální osvětlenost E_0

[8]

4.3 Základní výpočtové metody světelných výpočtu jsou:

- bodové metody
- tokové metody

4.3.1 Bodová metoda

Bodovou metodou se v daném kontrolním bodě kontroluje osvětlenost, popř. jasy. Tato kontrola se provádí v bodech vodorovných, svislých i obecně nakloněných rovin. Nevýhodou této metody je skutečnost, že v získaných výsledcích nejsou zahrnuty odražené světelné toky. Bodová metoda navíc platí pouze pro bodový zdroj světla, jehož rozměry se blíží k nule. Skutečný zdroj světla má však určité rozměry, což způsobuje chyby výpočtu. Aby tato chyba nebyla příliš velká, tak se tyto zdroje rozdělují.

Předpokládejme nyní bodový zdroj světla, za který lze považovat svítící prvek, jehož maximální rozměr je menší než třetina vzdálenosti svítidla od nejbližšího kontrolního místa. V takovém případě je chyba výpočtu do 10 %. Na obr.39 je znázorněn princip bodové metody, u které se stanoví osvětlenost v bodě P při šíření světla z bodového zdroje Z. Předpokládejme nejprve řešení osvětlenosti v bodě P, který je součástí obecné roviny r (viz obr). V tomto případě se osvětlenost v bodě P na rovině r určí z rovnice:

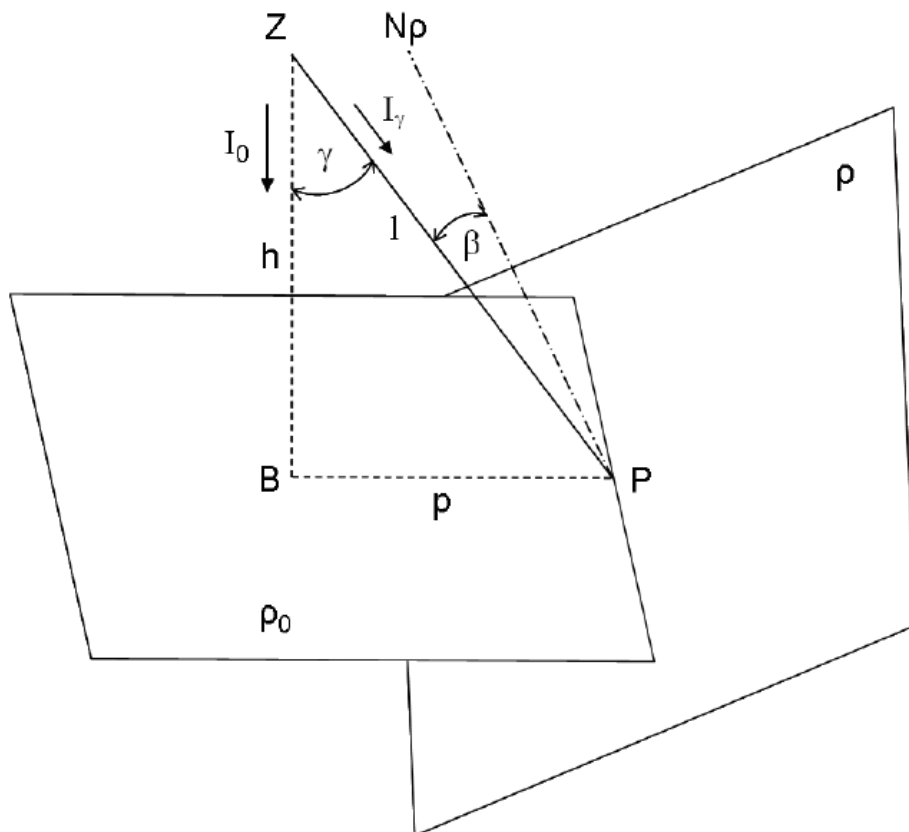
$$E = \frac{I \cdot \cos \beta}{l^2} \quad [lx; cd, -, m] \quad (4.1)$$

kde I je svítivost zdroje ,

β –úhel dopadu světla na kontrolní rovinu r a l – vzdálenosti (viz obr.)

Křivky svítivosti jsou obvykle uvedeny pro referenční světelný tok $f = 1000\text{lm}$. Protože světelný tok všech zdrojů světla f instalovaných ve svítidle se obecně liší od referenčního světelného toku f , je nutno svítivost stanovenou z křivky svítivosti přepočítat na skutečný světelný tok svítidla f podle rovnice:

$$I = I \frac{\phi_z}{\phi} \quad [\text{cd}; \text{cd}, \text{lm}, \text{lm}] \quad (4.2)$$



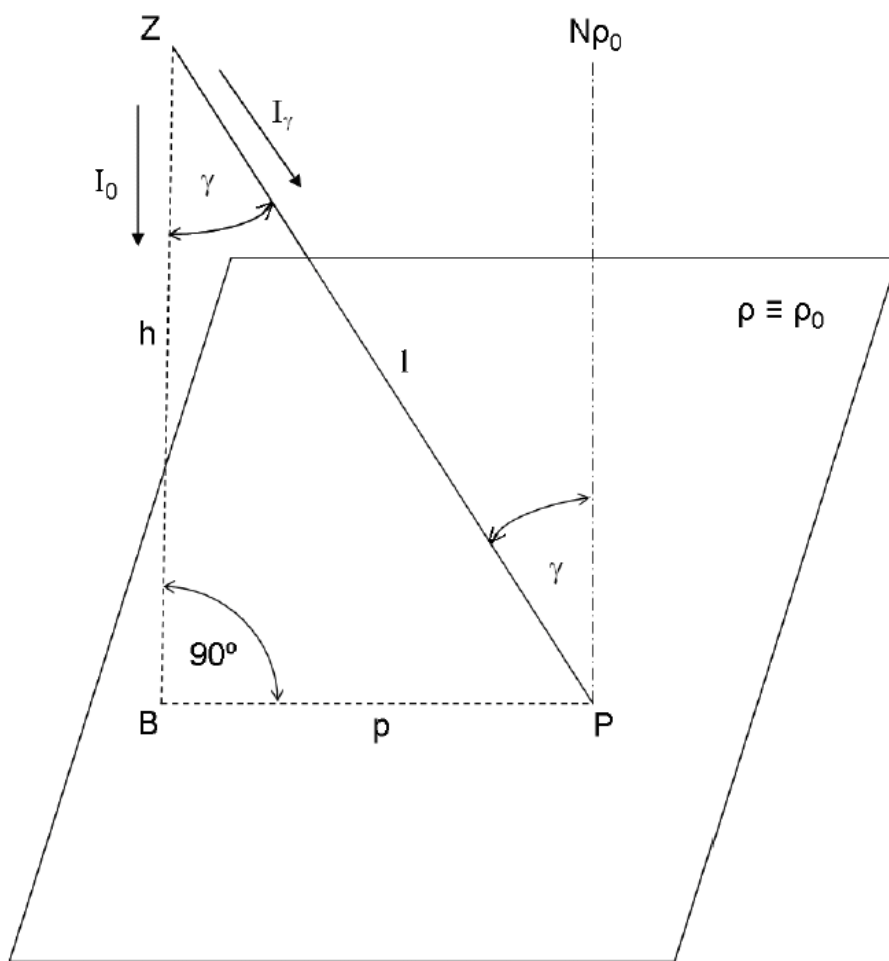
Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě obecné roviny ρ

Obrázek 39 Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě obecné roviny [8]

Druhou možností stanovení osvětlenosti v bodě P je proložit tento bod rovinou r , která je kolmá ke směru svítivosti I (viz obr.). V tomto případě lze osvětlenost v bodě P na rovině r určit z rovnice:

$$E_{pp0} = \frac{I_\gamma \cdot \cos \gamma}{l^2} = \frac{I_\gamma \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} = I_\gamma \cdot \frac{h}{l^3} = I_\gamma \cdot \frac{h}{(\sqrt{h^2 + p^2})^3}.$$

[lx; cd, -, m] (4.3)



Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě obecné roviny ρ_0 kolmé ke směru I_0

Obrázek 40 Stanovení osvětlenosti bodovou metodou [8]

[8]

4.3.2 Toková metoda

Tokovou metodou lze stanovit celkový počáteční světelný tok světelných zdrojů, potřebných k zajištění určité udržované osvětlenosti vnitřního prostoru v bodech srovnávací roviny.

Základní vztah používaný při tokové metodě pro výpočet světelného toku pro prostor kde se budou svítidla instalovat je:

$$\Phi_Z = \frac{E_m \cdot A}{\eta \cdot z} = \frac{E_0 \cdot A}{\eta_E} \quad (\text{lm; lx, m}^2, -, -) \quad (4.4)$$

E_m =udržovaná osvětlenost (lx)

E_0 =počáteční průměrná hladina osvětlenosti srovnávací roviny (lx)

A =velikost osvětlované plochy m^2

z = Udržovací činitel

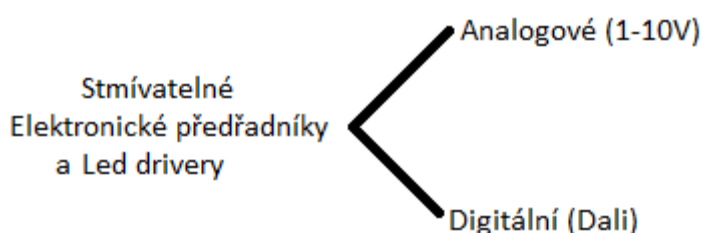
η_E = činitel využití

Vydělí-li se tok Φ_z tokem zdrojů umístěných v jednom svítidle, zjistí se, kolik je třeba svítidel umístit do osvětlovaného prostoru. Takto stanovený počet svítidel se musí vhodně zaokrouhlit, zejména s přihlédnutím k předpokládanému rozmístění svítidel. Zaokrouhlením se ovšem změní celkový tok zdrojů Φ_z , tudíž je nutné ověřit, zda je i v tomto případě dodržena požadovaná osvětlenost E_{pk} .

$$E_{pk} = \Phi_z / A \cdot z \cdot \eta_E \quad (\text{lx; lm, m}^2, -, -) \quad (4.5)$$

5 Využití řídicích systémů ve vnitřních osvětlovacích soustavách

Prvním, v praxi velmi využívaným řízením soustavy, je regulace na konstantní hodnotu osvětlenosti. Hodnota osvětlenosti, vyvolaná denním světlem v místnosti, musí být snímána čidly, která jsou umístěna v místech s nejnižší hodnotou činitele denní osvětlenosti. V případě využití zasklených otvorů ve svislých průčelích se toto místo nachází nejdále od zaskleného otvoru. Dalším faktem, který je třeba brát v potaz, je hodnota denního světla, která se v průběhu dne mění vlivem změny polohy slunce na obloze, která je dána rotací Země a vzájemnou polohou Slunce a Země ve vesmíru. [2]



Obrázek 41 Principy stmívání Obrázek 42

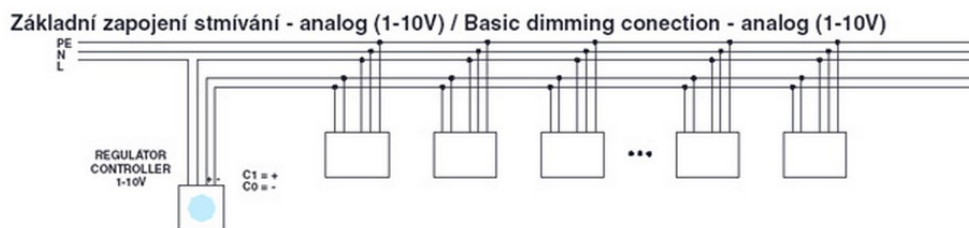
5.1 Analogové (1-10V)

Analogové (1-10V) řízené elektronické předřadníky a LED drivers jsou ovládány úrovní řídicího napětí na vstupu předřadníku (LED driveru).



Obrázek 43 LEDdriver MW HLG s e stmíváním 1-10V [24]

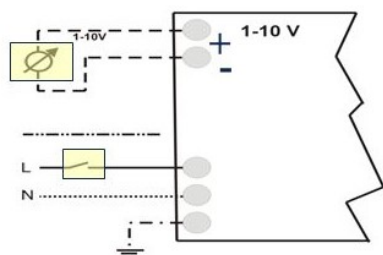
Pro analogové ovládání je použito dvou vodičového signálního vedení. Nevýhoda tohoto systému je, že dochází k úbytkům napětí na vedení a nemusí být tedy splněna podmínka nastavení všech elektrických předřadníků osvětlovací soustavy na stejnou úroveň. Řídicí napětí je v rozsahu 1-10V. Na obrázku je instalační schéma zapojení analogového ovládání:



Obrázek 44 zapojení stmívání 1-10V [18]

Existuje celá řada způsobů, jak používat elektronické předřadníky se stmíváním 1-10V. Typickými oblastmi použití jsou kanceláře a továrny s regulací osvětlení podle denního světla, konferenční a společenské místnosti s osvětlením podle situace nebo projektové kanceláře a místnosti s možností individuálního nastavení intenzity osvětlení. Srdcem systému osvětlení je stmívatelný elektronický předřadník DIM s rozhraním 1–10 V, který je řízen regulátorem nebo čidlem. Výběr správných stmívatelných komponent s rozhraním 1-10 V pro řízení intenzity osvětlení vždy závisí na konkrétním použití. Z tohoto důvodu je nutné přesně definovat požadovaný profil stmívatelného systému osvětlení.

Ballast 1...10V



Obrázek 45 Zapojení svorkovnice 1-10V [11]

Manuální regulátory

Manuální regulátory využívající vypínače a například dálkově ovládané jednotky nabízejí vysoký stupeň flexibility a lze je upravit podle konkrétních potřeb uživatele.

Automatické regulátory

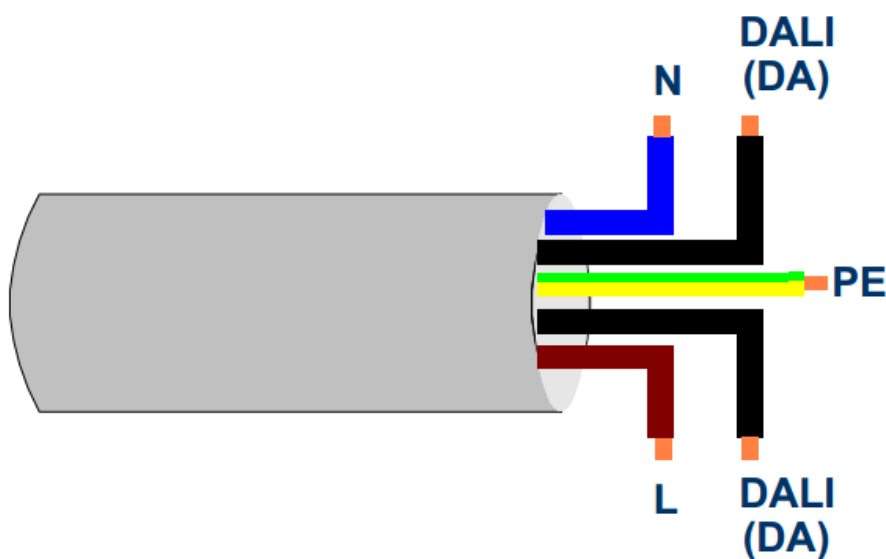
Automatické regulátory s čidly pomáhají šetřit náklady na osvětlení. Světelná čidla regulují intenzitu umělého osvětlení podle množství pronikajícího denního světla (průběžné řízení osvětlení) – maximálně se tak využívá denní světlo, které je zdarma. Takto lze ušetřit až 45 procent energie. Při použití čidel s automatickým odpojením, pohybovými čidly nebo čidly přítomnosti mohou úspory dosáhnout až 70 procent. [2][9]

5.2 DALI

DALI nabízí téměř neomezené možnosti. Ovladače osvětlení, čidla, provozní přístroje, elektronické předřadníky a světelné zdroje dokonale spolupracují na základě tohoto profesionálního standardu rozhraní. Obousměrná komunikace bez omezení umožňuje špičkové řízení osvětlení. DALI – otevřené rozhraní pro všechny komponenty.

Funkci DALI podporuje velké množství elektronických komponentů, je na výběr např.: z elektronických předřadníků DALI pro běžné a kompaktní zářivky, halogenové žárovky, vysokotlaké výbojky a LED světelné zdroje. Se systémy řízení osvětlení DALI lze navrhnout a přednastavit světelné scény a efekty dokonale

přizpůsobené konkrétním situacím a účelům. S DALI se snadněji projektují a má mnohem bohatší funkce než systémy s rozhraním 1...10V. [2][9]



Obrázek 46 Možnost použití 5 žilového kabelu v rozvodech [9]

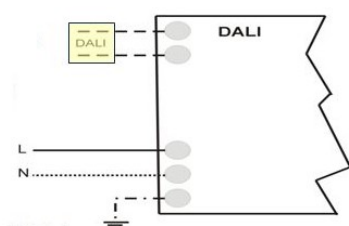
5.2.1 Projektování osvětlení s rozhraním DALI

Jedna dvojlinka řídicího okruhu pro až 64 přístrojů znamená, že skupiny svítidel není nutné definovat již ve fázi projektu, nýbrž je lze snadno nastavit později s pomocí regulátoru. Řídicí okruh lze plánovat zcela odděleně od projektu silového napájení.

Snadná instalace

Řídicí okruh je chráněn proti přepólování a lze jej vést společně se silovým okruhem, například pomocí pětivodičového kabelu. Řídicí linka musí být dimenzována pro síťové napětí. Není nutná žádná speciální kabeláž.

Ballast DALI



Obrázek 47 Zapojení svorkovnice DALI [9]

Menší počet součástí

Pro zapínání a vypínání osvětlovacích těles není potřeba žádných relé. Zapínání/vypínání a stmívání se provádí výhradně přes řídicí okruh.

Pružně umožní pozdější změnu účelu

S rozhraním DALI nejsou skupiny svítidel propojené napevno. Jednotlivá svítidla se rozdělují do skupin s pomocí programování, přičemž tyto skupiny lze kdykoliv změnit.

Synchronizované změny světelných scén

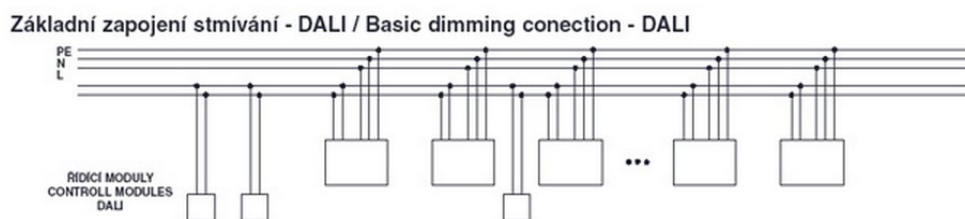
I když se jednotlivá svítidla rozsvítí s různě nastavenou intenzitou (procentem stmívání) nebo jsou v systému použity různé typy světelných zdrojů, rozhraní DALI dokáže zajistit, aby všechna svítidla přešla z jedné scény do druhé současně. Všechny světelné zdroje dosáhnou nové hodnoty intenzity světla ve stejný okamžik.

Dotaz na stav světelného zdroje

Zařízení DALI dokáže zjistit stav světelného zdroje a v případě poruchy ji prostřednictvím řídicí jednotky zobrazit. Tato funkce je výhodná zejména v případě velkých realizací, kde lze technologii DALI velmi snadno začlenit do stávajícího sběrného systému.

Integrace do automatizačních a řídicích systémů budov

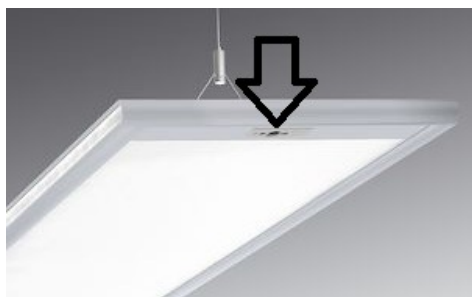
Díky jejich flexibilitě a rozsáhlým funkcím lze instalace DALI snadno začlenit do stávajících automatizačních a řídicích systémů budov nebo zahrnout do projektů nových objektů. V takových případech se technologie DALI implementuje do sběrného systému na vyšší úrovni. Osvětlení optimalizované z hlediska spotřeby energie významně přispívá k ekologičnosti objektu. Osvětlení lze zároveň snadno regulovat na úrovni individuálních svítidel. [2][9]



Obrázek 48 zapojení stmívání DALI [18]

5.3 Senzory

Senzory jsou umístěny buď přímo ve svítidle nebo v místnosti na stropě. Je také možno umístit například čidlo do jednoho svítidla a spínat s ním celou sestavu svítidel.



Obrázek 50 Svítidlo se senzorem [25]



Obrázek 49
Svítidlo se
senzorem [26]

5.3.1 Světelné senzory

Světelné senzory používají pro snímání intenzity osvětlení především fotodiody a fototranzistory. Některé typy senzorů mohou přímo ovládat stmívatelné

elektronické předřadníky, přičemž nastavení referenční hodnoty osvětlenosti se provádí přímo na senzoru. Napájení senzoru se provádí přímo z předřadníků nebo z řídicích jednotek. Některé typy senzorů jsou vybaveny pohybovými čidly a regulují úroveň osvětlení podle denního osvětlení a přítomnosti osob. Dosahuje se tím vyšších energetických úspor.

Základní principy měření vstupních hodnot pro řízení osvětlení: Největším problémem je změření skutečně relevantní vstupní veličiny, podle které bude řízení osvětlení efektivně prováděno. Integrace denního světla do automatizovaného řízení osvětlení je možno provést se zpětnou vazbou nebo bez ní. Obě řešení mají svoje výhody i nevýhody.

Řízení se zpětnou vazbou:

1. Používají se u individuálních světelných senzorů pro každé svítidlo (nebo skupinu svítidel) vybavené stmívatelným předřadníkem. Senzor se uchycuje na zářivkovou trubici ve svítidle a je orientován svisle dolů. Nastavení se provádí zpravidla šterbinovou clonou. Systém v případě většího počtu svítidel se špatně nastavuje. Sensory jsou použitelné pouze



Obrázek 51 Osram DIM PICO umístění na trubici stmívání 1-10V [9]

pro otevřená svítidla.

2. Sensory se umístí na strop nebo do podhledu a jsou pro skupinu svítidel. V případě dostatečného měřicího úhlu systémy mohou velmi dobře fungovat v místnostech s malou hloubkou, kde stačí jeden měřicí bod.

Řídicí systém se zpětnou vazbou měří skutečnou hodnotu jasu v místnosti a měřená hodnota tedy představuje součtovou hodnotu denního a umělého osvětlení. Naměřená hodnota jasu v podstatě odpovídá požadované nominální osvětlenosti. Výhodou je automatická eliminace vlivu udržovacího činitele na celkovou osvětlenost v kterémkoliv bodě udržovacího cyklu (platí pouze, pokud se nemění činitel odrazu referenční plochy).

Nevýhody:

- Měření v místnosti většinou zahrnuje pouze odrazy z relativně malé plochy, jako je například stůl. Oblečení lidí v místnosti (světlé nebo tmavé), povrch stolu (tmavý nebo s rozloženými bílými papíry), to všechno má zásadní vliv na naměřenou hodnotu jasu a ovlivňuje tedy i kolísání doplňující umělé složky osvětlení.
- Obvykle je cílem osvětlit místnost rovnoměrně v celé její hloubce. Protože intenzita denního světla je nejvyšší v blízkosti okna a klesá směrem k zadní stěně místnosti, je nezbytné automatizovat řízení osvětlení v případě bočního osvětlení (okna) ve skupinách. Řízení se zpětnou vazbou v tomto případě vyžaduje několik kontrolních bodů. Každé svítidlo má ale vždy vliv na celou místnost, různé řízené skupiny se tedy ovlivňují navzájem.

[2][4][9][30]

Regulace bez zpětné vazby:



Obrázek 52 Luxmate Professional [29]

Základním rozdílem je, že systém měří pouze hodnotu denního osvětlení, ať už pomocí senzoru umístěného přímo ve venkovním prostředí nebo uvnitř místnosti a směřovaného do okna nebo světlíku, tak aby umělé osvětlení nemělo vliv na naměřenou hodnotu. Tím jsou eliminovány nevýhody řízení se zpětnou vazbou.

1. Soumrakový spínač, který je umístěn v exteriéru. Světelný senzor měří skutečnou hodnotu venkovního osvětlení. Nerozlišuje přitom difúzní oblohovou složku a přímé sluneční světlo. Při proměnlivém počasí měřená veličina silně kolísá, aniž by se tyto změny ekvivalentně

promítaly v měřené místnosti. Měření je pro efektivní řízení osvětlení v interiéru obtížně použitelné.

2. Směrový světelný senzor umístěný v místnosti. Využívají systémy řízení osvětlení se směrovým senzorem umístěným na stropě místnosti a orientovaným k oknu. Systémy při správném umístění senzoru v podstatě měří pouze odražené světlo od ploch v exteriéru, které vstupuje do místnosti. Tím je zachována určitá dynamika změn poměru difúzního a přímého slunečního světla, která lépe odpovídá změnám v místnosti po vícenásobných odrazech. Hlavním problémem takového systému měření jsou sezónní změny činitele odrazu ploch v exteriéru, které mohou být značné (trávník – sníh). Vzhledem k tomu, že velká většina denního světla do místnosti přichází přímo, může měření pouze odražené složky znamenat v těchto případech velkou chybu.

- Zařízení, které měří pouze jas v exteriéru, nebere vůbec v úvahu, že samotná místnost a odrazy od ohraničujících ploch (stěny, podlaha, strop, nábytek) mají velmi podstatný vliv na hodnotu osvětlení.

- Množství denního světla vstupující do místnosti závisí i na orientaci místnosti a okolním prostředí. Množství denního světla není odlišné pouze na každé straně budovy, ale zpravidla i v každém podlaží. To je třeba zohlednit při volbě typu a umístění snímačů. [2][4][9][30]

5.3.2 Pohybové senzory

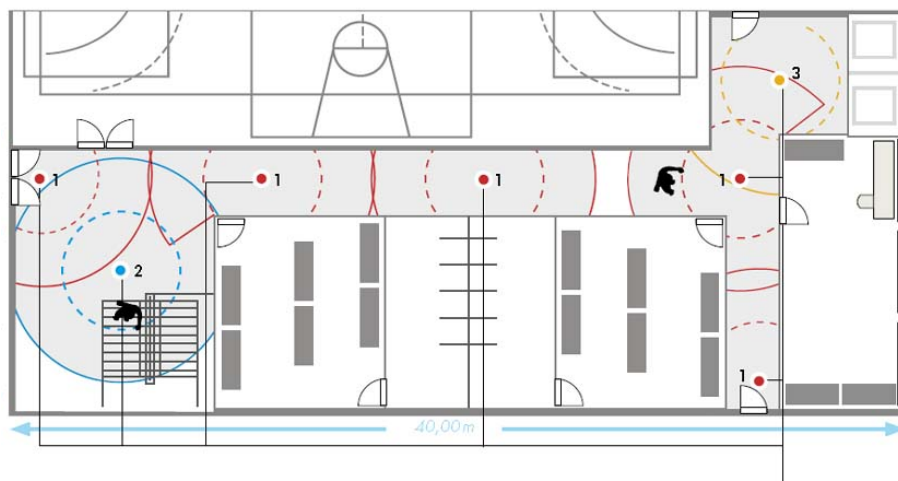
Pohybová čidla slouží k úspornému ovládání osvětlení především chodeb, schodišť a dalších prostor. Základem čidla je infrapasivní sensor, který reaguje na teplo pohybujících se osob. Po narušení detekčního pole se automaticky zapne připojené zařízení na nastavenou dobu.

Běžně používaná pohybová čidla v zásadě používají dva principy detekce pohybu.:

Nejrozšířenější je tzv. pyroelektrický princip. Čidla se označují PIR. Tato čidla nic nevyzařují, ale registrují záření (tepelné), které vydává pohybující předmět. Tato čidla vykazují dost falešných poplachů nebo naopak selhávek. Takovéto čidlo nemusí zaznamenat pohyb studeného předmětu, což ale někdy bývá přednost.

Další princip je mikrovlnný. Tato čidla vyzařují mikrovlnné záření na kmitočtu cca 24 Ghz a registrují odraz od pohybujícího se předmětu. Takovéto čidlo rozsvítí světlo na základě pohybu i přes přepážku, např. dveře. Kvalitní čidla jsou tzv. duální čidla, která kombinují oba tyto principy.

V praxi je ještě již dlouho rozšířený klasický optoelektrický systém. To je systém, který využívá registraci přerušení nějakého optického paprsku. Zdroj záření - fotobuňka. Toto ale není prostorové, pohybové čidlo. [2][4][9][30]



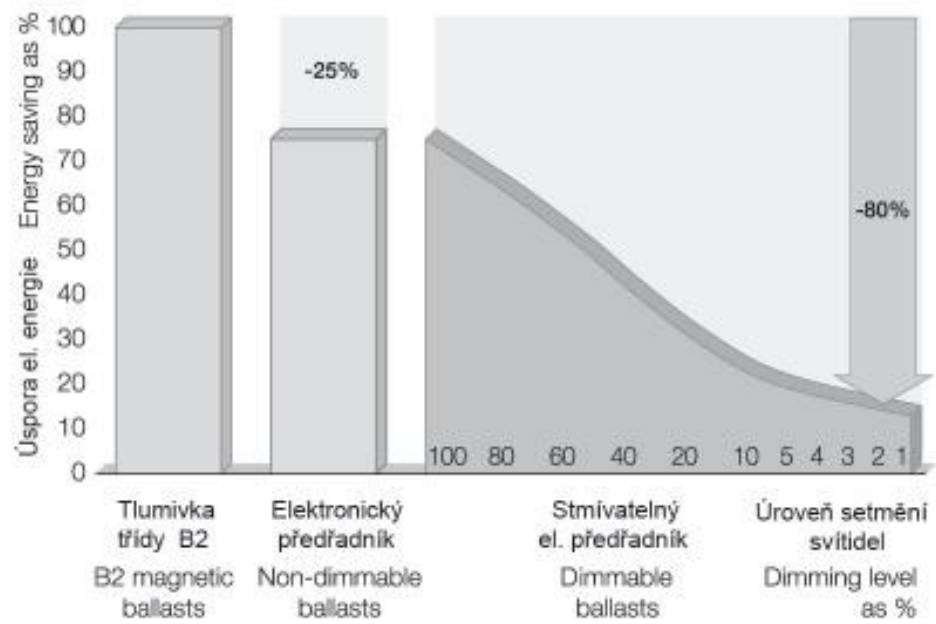
Obrázek 53 návrh rozmístění čidel na chodbě [31]

5.3.3 Kombinované senzory

Jsou to například senzory, pomocí kterých se reguluje úroveň osvětlení podle denního světla a přítomnosti osob. Při dostatečné denní osvětlenosti se stmívá na minimální hodnoty osvětlenosti a v místech, kde se nenachází žádní pracovníci, tak dojde po nastaveném čase k dalšímu snížení na předem nastavenou hodnotu. Vypnutí těchto svítidel by vytvořilo nepříjemnou atmosféru (černé díry), proto se tato svítidla jen stmívají. Zaměstnanci pracují v příjemném světelném prostředí a provozovatelé mohou ušetřit náklady na spotřebu elektrické energie. [9] [2][30]



Obrázek 54 Čidlo Osram LS/PD LI pro snímání pohybu a osvětlení [9]



Obrázek 55 Porovnání spotřeby předřadníků [18]

6 Alternativní návrh osvětlovací soustavy vybraného prostoru

V této části budeme navrhovat osvětlení výpočtem a porovnávat mezi LED svítidlem a svítidlem osazenou trubicí T5. Pro porovnání jsem si vybral 3 různé místnosti. Všechny místnosti jsou umístěny ve školní budově. Jedná se o učebnu, chodbu a kancelář sekretářky.

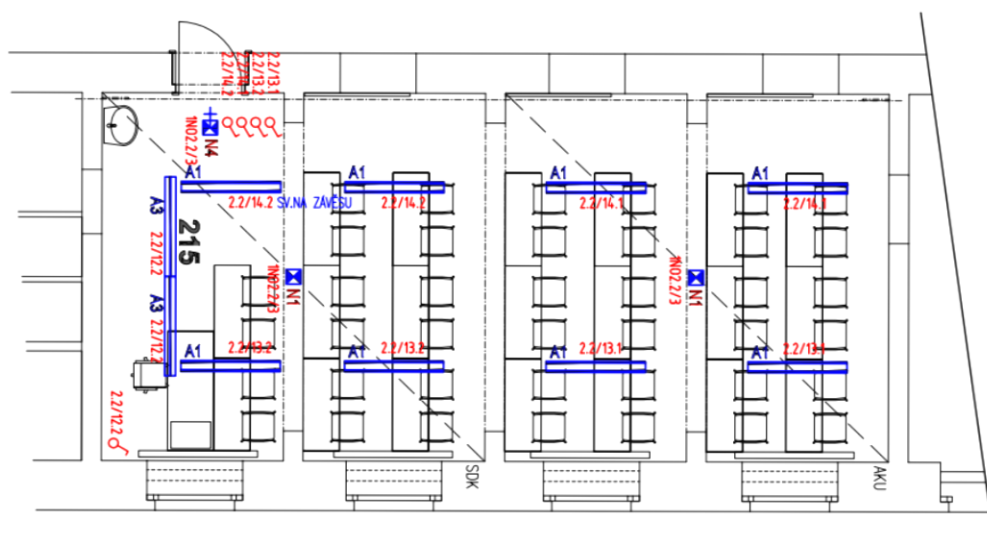
Všechny 3 místnosti se počítají podle normy, ČSN EN 12 464-1, místnosti učebna a chodba jsou zařazeny ve skupině Vzdělávací zařízení – Školské budovy a kancelář sekretářky je ve skupině Administrativní prostory (Kanceláře).

Tabulka 2 Hodnoty osvětlení a rovnoměrnosti [1]

Místnost	Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Em [lx]	Uo [-]
Kancelář	5.26.2	Psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500	0,6
Učebna	5.36.3	Auditoria a posluchárny	500	0,6
Chodba	5.36.17	Komunikační prostory a chodby	100	0,4

6.1 Návrh umělého a denního osvětlení:

6.1.1 Učebna



Obrázek 56 půdorys učebny

Tyto okenní otvory jsou opatřeny dvojitým vakuovým zasklením, propustnost skel v okenních rámech je 84% (je uvažováno vakuové dvojsklo tudíž propustnost jednoho skla je dle ČSN 92%), velikost oken je 1,45x2m a parapet ve výšce 80cm. Výška výpočtové plochy je 0,85m nad úrovní podlahy.

Odraznosti povrchů jsou převzaty normativní: 70/50/20

Udržovací činitel byl nastaven na hodnotu 0.8

Do učeben jsme navrhli závěsná svítidla Lambda 153 D/I od firmy INGE, jako dolní optická část byla zvolena dvojitá parabolická mřížka z matného hliníku a horní prizmatický kryt. Svítidlo je osazeno dvěma kusy trubice T5 80W. Pro nasvětlení tabule jsme zvolili stejný typ svítidla, pouze byla změněna optická část na asymetrický reflektor a je osazena pouze 1 trubicí T5 80W. Jako druhou variantu jsme zvolili svítidlo Sigma LED D/I, které je osazeno LED modulem firmy Osram. Svítidlo sigma používá jako spodní optickou část mikropyramidový kryt a horní čirý kryt. Pro osvětlení tabule jsou použita svítidla od firmy Elkovo Čepelík asymetrical. Katalogové listy svítidel jsou přiloženy v příloze.

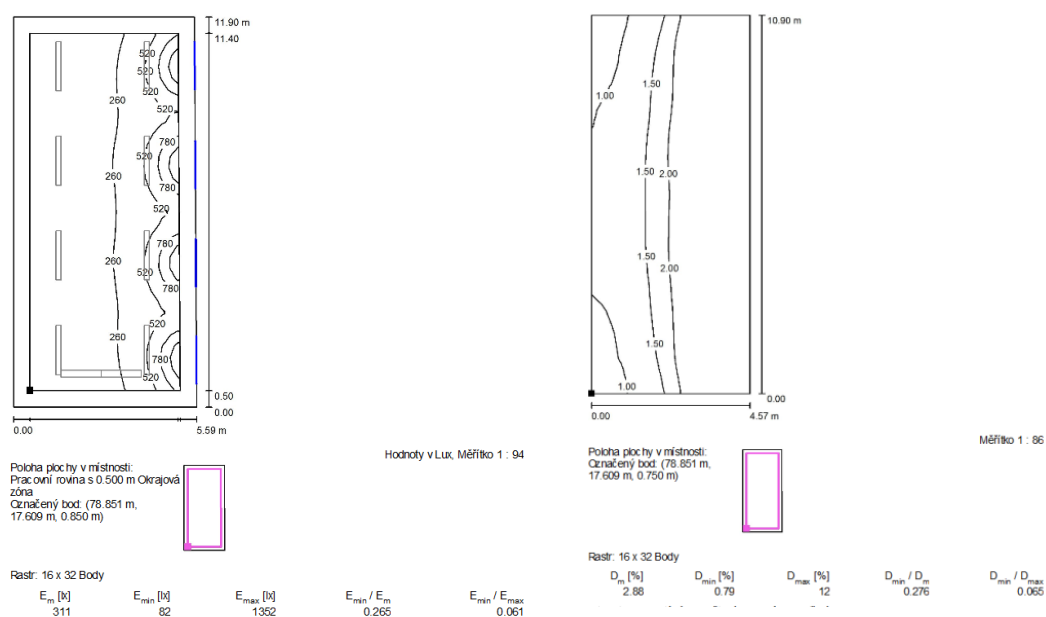


Obrázek 57 Sigma LED D/I



Obrázek 58 Lambda 153 D/I

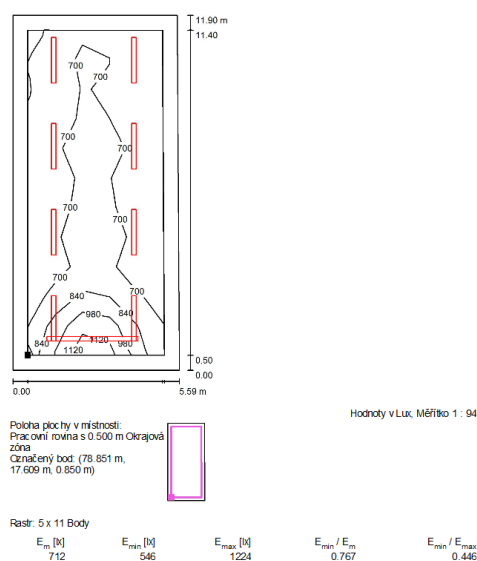
Výpočet denního osvětlení v učebně.



Obrázek 59 Výpočet denního osvětlení

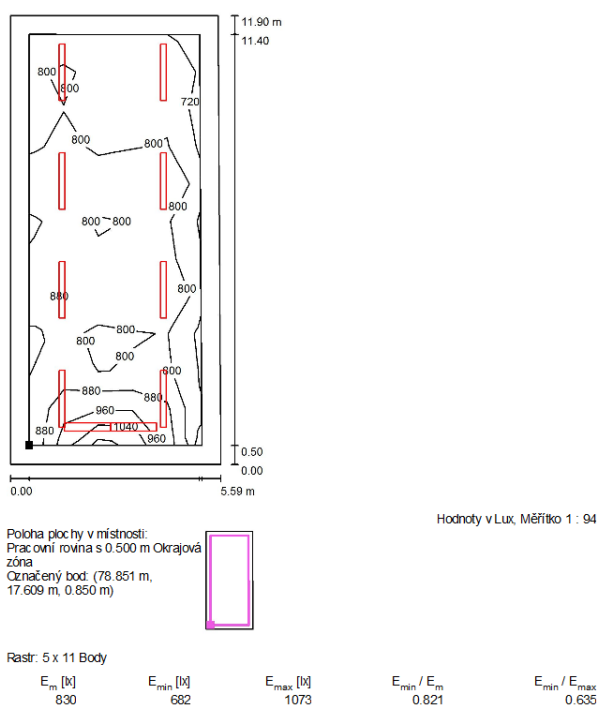
Z následujících obrázků jsou patrné hodnoty denního osvětlení v kontrolní učebně. Výpočet je zpracován pomocí výpočetního programu DIALux, který napomáhá k simulaci. Na obrázku jsou znázorněny izofoty. Hranice izofoty s hodnotou 1,5 určuje prostor, který může být využíván k trvalému pobytu osob. Toto pracovní místo v kanceláři by mělo být umístěno v prostoru, kde dosahuje činitel denní osvětlenosti hodnoty minimálně 1,5. Hodnota E_m je vypočtena z hodnoty 11 432lx. Tato hodnota je světelný tok Slunce, která je nastavena v programu DIALux.

Výpočet umělého osvětlení učebny se svítidly osazenými trubicemi T5.



Obrázek 60 Výpočet umělého osvětlení s trubicovými svídkly

Výpočet umělého osvětlení učebny s LED svítidly.



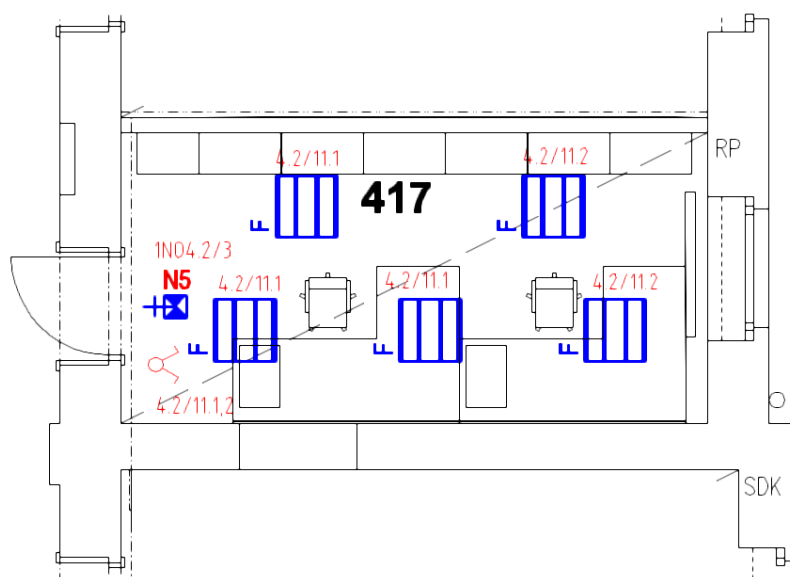
Obrázek 61 Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly

Výpočty umělého osvětlení vychází nad hodnotu předepsanou normou ČSN EN 12 464-1, která udává hodnotu 500lx a rovnoměrnost 0,6. Svítidla LED i s trubnicemi jsou umístěna ve stejných místech, která byla požadována architektem. Místnost nakonec byla osazena svítidly s trubnicemi, po změření skutečného stavu jsme se dostali na hodnotu 816lx a rovnoměrnost 0,73. Tato hodnota je vyšší oproti výpočtu, zřejmě je způsobena nastaveným udržovacím činitelem.

Tabulka 3 Porovnání osvětlení učebny

	Denní světlo	Umělé Trubice T5	Umělé LED	Změřeno
E_m [lx]	311	712	830	816
E_{min}/E_m [-]	0,26	0,767	0,821	0,73

6.1.2 Kancelář



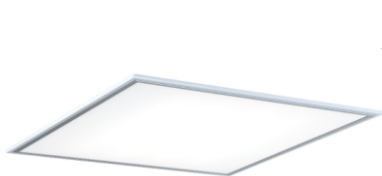
Obrázek 62 Půdorys kanceláře

V místnosti je jeden okenní otvor, který je opatřen dvojitým vakuovým zasklením, propustnost skel v okenních rámech je 84% (je uvažováno vakuové dvojsklo tudíž propustnost jednoho skla je dle ČSN 92%), velikost okna je 1,4x2m a parapet ve výšce 80cm. Výška výpočtové plochy je 0,85m nad úrovní podlahy.

Odraznosti povrchů jsou převzaty normativní: 70/50/20

Udržovací činitel byl nastaven na hodnotu 0.8

V prostoru kanceláře jsme navrhli osvětlení do rastru, ze kterého bude strop zhotoven, podle něj bylo nutné rozmístit vestavná čtvercová svítidla VMR od firmy INGE. První typ svítidla je osazen 4ks trubice T5 14W. Jako optická část byla zvolena dvojitá parabolická mřížka z lesklého hliníku. A jako druhou variantu jsme zvolili svítidlo stejného typu VMR LED, které je ale osazeno 4ks LED modulu 8,5W a jako optickou část jsme zvolili prizmatický mikropyramidový kryt. Katalogové listy svítidel jsou přiloženy v příloze.

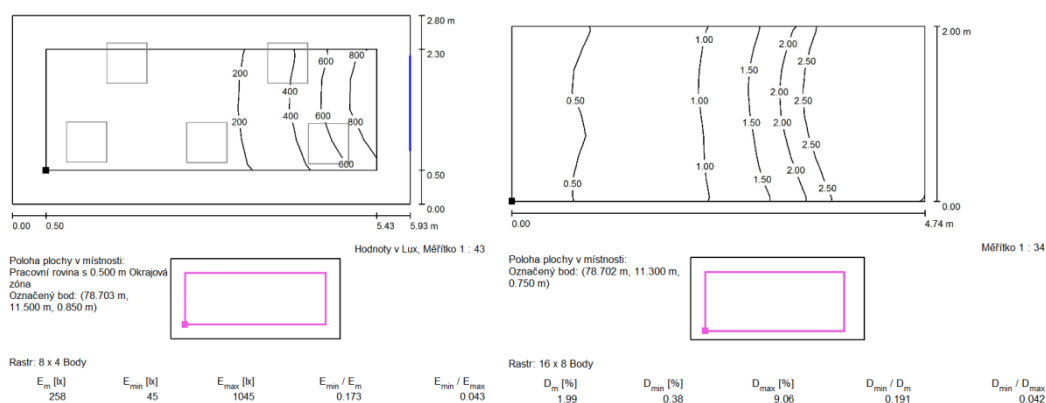


Obrázek 63 VMR LED



Obrázek 64 VMR 4x14

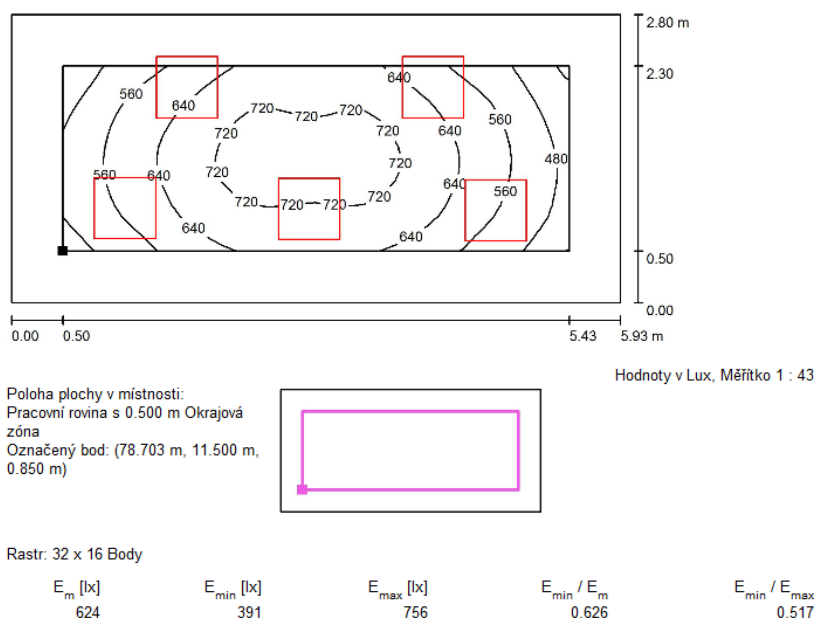
Výpočet denního osvětlení kanceláře.



Obrázek 65 výpočet denního osvětlení

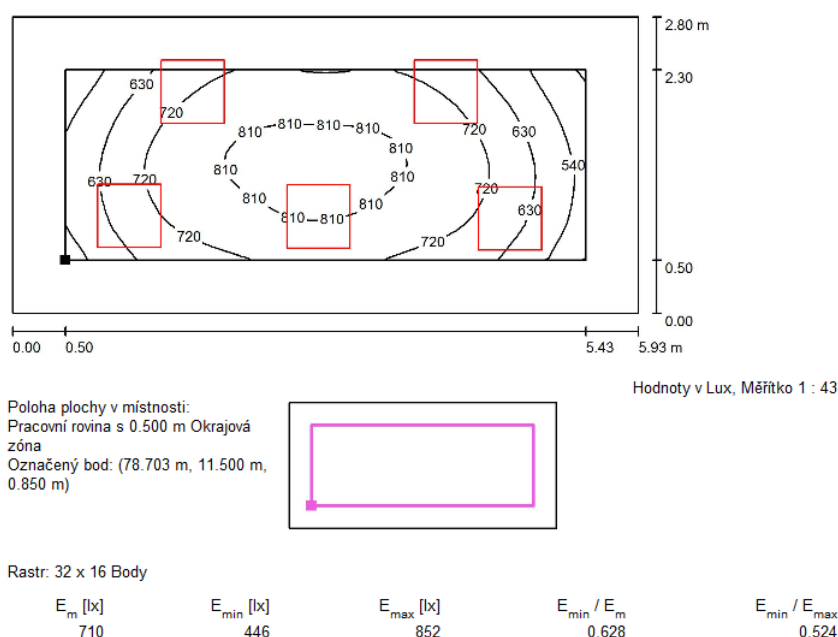
Z následujících obrázků jsou patrné hodnoty denního osvětlení v kontrolní učebně. Výpočet je zpracován pomocí výpočetního programu DIALux, který napomáhá k simulaci. Na obrázku jsou znázorněny izofoty s hodnotou 1,5 určuje prostor, který může být využíván k trvalému pobytu osob. Toto pracovní místo v kanceláři by mělo být umístěno v prostoru, kde dosahuje činitel denní osvětlenosti hodnoty minimálně 1,5. Hodnota E_m je vypočtena z hodnoty 11 432 lx. Tato hodnota je světelný tok Slunce, která je nastavena v programu DIALux.

Výpočet umělého osvětlení se svítidly osazenými trubicemi T5.



Obrázek 66 Výpočet umělého osvětlení s trubicovými svítidly

Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly.



Obrázek 67 Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly

Výpočty umělého osvětlení vychází nad hodnotu předepsanou normou ČSN EN 12 464-1, která udává hodnotu 500lx a rovnoměrnost 0,6. Svítidla LED i s trubicemi jsou umístěna ve stejných místech, která byla požadována architektem, takže je bylo možné umístit do použitého rastru. Místnost nakonec byla osazena svítidly s trubicemi, po změření skutečného stavu jsme se dostali na hodnotu 726lx a rovnoměrnost 0,75. Tato hodnota je vyšší oproti výpočtu, nejspíš je způsobena nastaveným udržovacím činitelem.

Tabulka 4 Porovnání osvětlení kanceláře

	Denní světlo	Umělé Trubic T5	Umělé LED	Změřeno
E_m [lx]	258	624	710	726
E_{min}/E_m [-]	0,17	0,626	0,628	0,75

6.1.3 Chodba

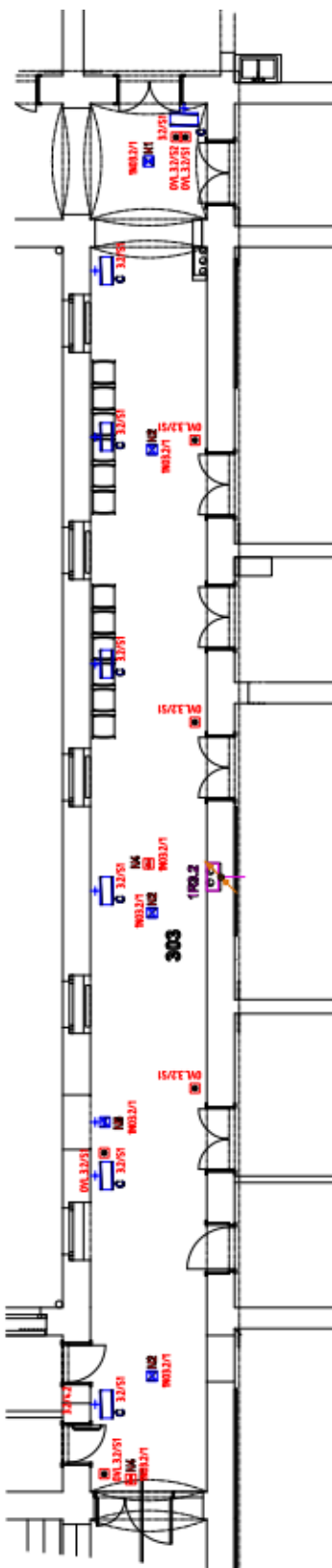
Chodba má na stropě klenby. V místnosti je 5 okenních otvorů, které jsou opatřeny dvojitými vakuovými zaskleními, propustnost skel v okenních rámech je 84% (je uvažováno vakuové dvojsklo tudíž propustnost jednoho skla je dle ČSN 92%), velikost okna je 1,4x2m a parapet ve výšce 80cm. Výška výpočtové plochy je 0,05m nad úrovní podlahy.

Odrážnosti povrchů jsou převzaty normativní: 70/50/20

Udržovací číselník byl nastaven na hodnotu 0.8

Výsledky výpočtu: a porovnání osvětlení LED světelného zdroje a Trubice T5

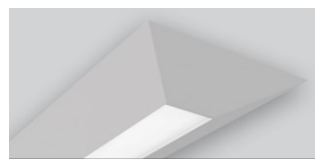
V prostoru chodby jsme navrhli osvětlení nástěnnými svítidly ALFA WS od firmy INGE, která mají převážně horní vyzařování. První typ svítidla je osazen 2ks kompaktních zářivek 55W. Svítidlo je nahoru otevřené, tedy bez optické části a dolů svítí přes děrovaný plech. A jako druhou variantu jsme zvolili svítidlo podobného typu od firmy Litecontrol, ale svítidlo je osazeno 45,3W LED zdrojem. Svítidlo je opět nahoru otevřeno a pro osvětlení dolního poloprostoru je použit opálový kryt. Katalogové listy svítidel jsou přiloženy v příloze.



Obrázek 70 Půdorys chodby

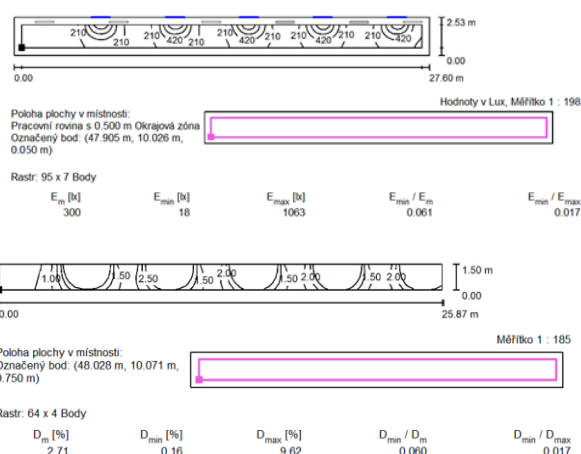


Obrázek 68 ALFA WS



Obrázek 69 Litecontrol

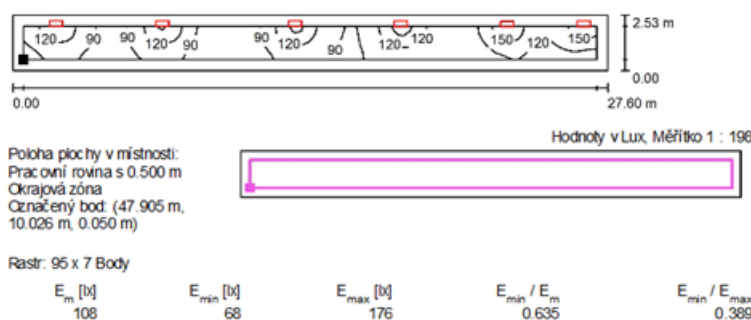
Výpočet denního osvětlení chodby.



Obrázek 71 Výpočet denního osvětlení

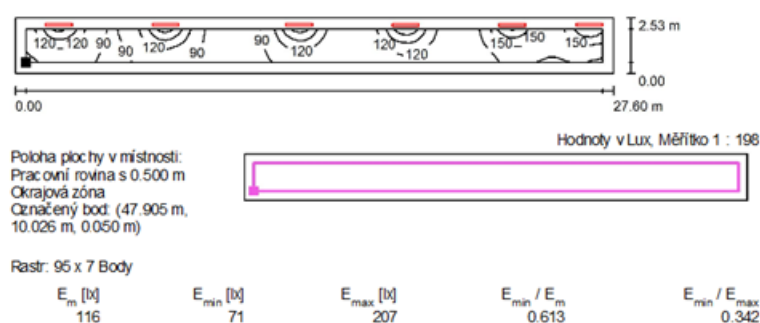
Z následujících obrázků jsou patrné hodnoty denního osvětlení v kontrolní učebně. Výpočet je zpracován pomocí výpočetního programu DIALux, který napomáhá k simulaci. Na obrázku jsou znázorněny izofoty. Hranice izofoty s hodnotou 1,5 určuje prostor, který může být využíván k trvalému pobytu osob. Toto pracovní místo v kanceláři by mělo být umístěno v prostoru, kde dosahuje činitel denní osvětlenosti hodnoty minimálně 1,5. Hodnota E_m je vypočtena z hodnoty 11 432 lx. Tato hodnota je světelný tok Slunce, která je nastavena v programu DIALux.

Výpočet umělého osvětlení se zářivkovými svítidly.



Obrázek 72 Výpočet umělého osvětlení s trubcovými svítidly

Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly.



Obrázek 73 Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly

Výpočty umělého osvětlení vychází nad hodnotu předepsanou normou ČSN EN 12 464-1, která udává hodnotu 100lx a rovnoměrnost 0,4. Svítidla LED i s trubicemi jsou umístěna ve stejných místech, která byla požadována architektem, takže je bylo možné umístit do použitého rastru. Místnost nakonec byla osazena svítidly s trubicemi, po změření skutečného stavu jsme se dostali na hodnotu 213lx a rovnoměrnost 0,82. Tato hodnota je vyšší oproti výpočtu, nejspíš je způsobena nastaveným udržovacím činitelem ve výpočtu.

Tabulka 5 porovnání osvětlení na chodbě

	Denní světlo	Umělé Trubice T5	Umělé LED	Změřeno
E_m [lx]	300	108	116	213
E_{min}/E_m [-]	0,061	0,635	0,613	0,82

7 Vyhodnocení vlivu využití moderních technologií a řízení ve fázi projektu

7.1 Energetické porovnání

Energetické porovnání proběhlo podle normy EN 15193 Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení

7.2 LENI

Číselný ukazatel energie pro osvětlení (LENI – Lighting Energy Numeric Indicator) – číselný ukazatel celkové roční energie spotřebované osvětlením požadovaným v budově a uvedené v kilowatthodinách na metr čtverečný za rok ($\text{kWh/m}^2 \text{ rok}$)

Ukazatel LENI lze využít k přímému porovnání energetické náročnosti osvětlení v budovách se stejným účelem ale rozdílnými rozměry a uspořádáním.

7.3 Učebna

V učebně je uvažována doba využití 200dnů/rok a 9h/den. Tedy 1800h/rok.

Výpočet energetické náročnosti při použití svítidel osazenými trubicemi T5 a bez použití moderních systému stmívání.

Tabulka 6 výsledky energie pro učebnu s trubicemi

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 2462.40 kWh/a
LENI: 37.27 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 2462.40 kWh/a
Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
Celková plocha: 66.07 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Únor	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Březen	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Duben	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Květen	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Červen	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Červenec	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Srpen	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Září	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Říjen	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Listopad	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00
Prosinec	205.20	3.11	205.20	3.11	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití LED svítidel a bez použití moderních systému stmívání.

Tabulka 7 výsledky energie pro učebnu s LED

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 1443.24 kWh/a
 LENI: 21.84 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 1443.24 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 66.07 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Únor	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Březen	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Duben	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Květen	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Červen	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Červenec	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Srpen	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Září	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Říjen	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Listopad	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00
Prosinec	120.27	1.82	120.27	1.82	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití svítidel osazenými trubicemi T5 a s použitím moderních systému stmívání, kde se bude využívat přísun denního světla.

Tabulka 8 výsledky energie pro učebnu s trubicemi a stmíváním

Energetické vyhodnocení podle následující normy: EN 15193

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 1059.66 kWh/a
 LENI: 16.04 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 1059.66 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 66.07 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	134.23	2.03	134.23	2.03	0.00	0.00
Únor	105.64	1.60	105.64	1.60	0.00	0.00
Březen	83.97	1.27	83.97	1.27	0.00	0.00
Duben	62.31	0.94	62.31	0.94	0.00	0.00
Květen	48.44	0.73	48.44	0.73	0.00	0.00
Červen	51.91	0.79	51.91	0.79	0.00	0.00
Červenec	53.64	0.81	53.64	0.81	0.00	0.00
Srpen	57.98	0.88	57.98	0.88	0.00	0.00
Září	74.44	1.13	74.44	1.13	0.00	0.00
Říjen	97.84	1.48	97.84	1.48	0.00	0.00
Listopad	144.63	2.19	144.63	2.19	0.00	0.00
Prosinec	144.63	2.19	144.63	2.19	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití LED svítidel a s použitím moderních systému stmívání, kde se bude využívat přísun denního světla.

Tabulka 9 výsledky energie pro učebnu s LED a stmíváním

Celková energie Osvětlení: 621.08 kWh/a
 LENI: 9.40 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 621.08 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 66.07 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Leden	78.67	1.19	78.67	1.19	0.00	0.00
Únor	61.91	0.94	61.91	0.94	0.00	0.00
Březen	49.22	0.74	49.22	0.74	0.00	0.00
Duben	36.52	0.55	36.52	0.55	0.00	0.00
Květen	28.39	0.43	28.39	0.43	0.00	0.00
Červen	30.43	0.46	30.43	0.46	0.00	0.00
Červenec	31.44	0.48	31.44	0.48	0.00	0.00
Srpen	33.98	0.51	33.98	0.51	0.00	0.00
Září	43.63	0.66	43.63	0.66	0.00	0.00
Říjen	57.34	0.87	57.34	0.87	0.00	0.00
Listopad	84.77	1.28	84.77	1.28	0.00	0.00
Prosinec	84.77	1.28	84.77	1.28	0.00	0.00

7.4 Kancelář

V kanceláři je uvažována doba využití 250dnů/rok a 9h/den. Tedy 2250h/rok.

Výpočet energetické náročnosti při použití svítidel osazenými trubicemi T5 a bez použití moderních systému stmívání.

Tabulka 10 výsledky energie pro kancelář s trubicemi

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 567.00 kWh/a
 LENI: 34.16 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 567.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 16.60 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Leden	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Únor	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Březen	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Duben	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Květen	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Červen	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Červenec	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Srpen	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Září	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Říjen	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Listopad	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00
Prosinec	47.25	2.85	47.25	2.85	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití LED svítidel a bez použití moderních systému stmívání.

Tabulka 11 výsledky energie pro kancelář s LED

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 344.25 kWh/a

LENI: 20.74 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 344.25 kWh/a

Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a

Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a

Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a

Celková plocha: 16.60 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Únor	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Březen	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Duben	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Květen	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Červen	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Červenec	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Srpen	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Září	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Říjen	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Listopad	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00
Prosinec	28.69	1.73	28.69	1.73	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití svítidel osazenými trubicemi T5 a s použitím moderních systému stmívání, kde se bude využívat přísun denního světla.

Tabulka 12 výsledky energie pro kancelář s trubicemi a stmíváním

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 499.57 kWh/a

LENI: 30.09 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 499.57 kWh/a

Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a

Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a

Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a

Celková plocha: 16.60 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	47.39	2.85	47.39	2.85	0.00	0.00
Únor	43.80	2.64	43.80	2.64	0.00	0.00
Březen	41.09	2.48	41.09	2.48	0.00	0.00
Duben	38.37	2.31	38.37	2.31	0.00	0.00
Květen	36.63	2.21	36.63	2.21	0.00	0.00
Červen	37.07	2.23	37.07	2.23	0.00	0.00
Červenec	37.28	2.25	37.28	2.25	0.00	0.00
Srpen	37.83	2.28	37.83	2.28	0.00	0.00
Září	39.89	2.40	39.89	2.40	0.00	0.00
Říjen	42.83	2.58	42.83	2.58	0.00	0.00
Listopad	48.70	2.93	48.70	2.93	0.00	0.00
Prosinec	48.70	2.93	48.70	2.93	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití LED svítidel a s použitím moderních systému stmívání, kde se bude využívat přísun denního světla.

Tabulka 13 výsledky energie pro kancelář s LED a stmíváním

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 147.69 kWh/a
 LENI: 8.90 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 147.69 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 16.60 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	18.71	1.13	18.71	1.13	0.00	0.00
Únor	14.72	0.89	14.72	0.89	0.00	0.00
Březen	11.70	0.70	11.70	0.70	0.00	0.00
Duben	8.68	0.52	8.68	0.52	0.00	0.00
Květen	6.75	0.41	6.75	0.41	0.00	0.00
Červen	7.23	0.44	7.23	0.44	0.00	0.00
Červenec	7.48	0.45	7.48	0.45	0.00	0.00
Srpen	8.08	0.49	8.08	0.49	0.00	0.00
Září	10.37	0.62	10.37	0.62	0.00	0.00
Říjen	13.64	0.82	13.64	0.82	0.00	0.00
Listopad	20.16	1.21	20.16	1.21	0.00	0.00
Prosinec	20.16	1.21	20.16	1.21	0.00	0.00

7.5 Chodba

V kanceláři je uvažována doba využití 250dnů/rok a 9h/den. Tedy 2250h/rok.

Výpočet energetické náročnosti při použití svítidel osazenými zářivkovými svítilny a bez použití moderních systému stmívání.

Tabulka 14 výsledky energie pro chodbu s trubicemi

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 891.00 kWh/a
 LENI: 12.78 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 891.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 69.74 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Únor	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Březen	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Duben	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Květen	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Červen	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Červenec	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Srpen	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Září	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Říjen	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Listopad	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00
Prosinec	74.25	1.06	74.25	1.06	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití LED svítidel a bez použití moderních systému stmívání.

Tabulka 15 výsledky energie pro chodbu s LED

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 391.50 kWh/a
 LENI: 5.61 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 391.50 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 69.74 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Leden	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Únor	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Březen	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Duben	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Květen	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Červen	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Červenec	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Srpen	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Září	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Říjen	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Listopad	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00
Prosinec	32.63	0.47	32.63	0.47	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití svítidel osazenými zářivkovými svídky a použitím moderních systému stmívání, kde se bude využívat přisun denního světla.

Tabulka 16 výsledky energie pro chodbu s trubicemi a stmíváním

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 590.40 kWh/a
 LENI: 8.66 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 590.40 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a
 Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a
 Celková plocha: 68.20 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Leden	55.60	0.82	55.60	0.82	0.00	0.00
Únor	51.62	0.76	51.62	0.76	0.00	0.00
Březen	48.60	0.71	48.60	0.71	0.00	0.00
Duben	45.58	0.67	45.58	0.67	0.00	0.00
Květen	43.66	0.64	43.66	0.64	0.00	0.00
Červen	44.14	0.65	44.14	0.65	0.00	0.00
Červenec	44.38	0.65	44.38	0.65	0.00	0.00
Srpen	44.98	0.66	44.98	0.66	0.00	0.00
Září	47.28	0.69	47.28	0.69	0.00	0.00
Říjen	50.52	0.74	50.52	0.74	0.00	0.00
Listopad	57.04	0.84	57.04	0.84	0.00	0.00
Prosinec	57.04	0.84	57.04	0.84	0.00	0.00

Výpočet energetické náročnosti při použití LED svítidel a použitím moderních systému stmívání, kde se bude využívat přísun denního světla.

Tabulka 17 výsledky energie pro chodbu s LED a stmíváním

Výsledky

Celková energie Osvětlení: 258.96 kWh/a

LENI: 3.71 kWh/(a · m²)

Celková energie Zraková úloha: 258.96 kWh/a

Celková energie Parazitní (Celkem): 0.00 kWh/a

Celková energie Parazitní (Pohotovostní): 0.00 kWh/a

Celková energie Parazitní (Dobíjení nouzového osvětlení): 0.00 kWh/a

Celková plocha: 69.72 m²

Měsíční výsledky

Měsíc	Osvětlení		Zraková úloha		Parazitní	
	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]
Leden	24.36	0.35	24.36	0.35	0.00	0.00
Únor	22.62	0.32	22.62	0.32	0.00	0.00
Březen	21.30	0.31	21.30	0.31	0.00	0.00
Duben	20.00	0.29	20.00	0.29	0.00	0.00
Květen	19.14	0.27	19.14	0.27	0.00	0.00
Červen	19.36	0.28	19.36	0.28	0.00	0.00
Červenec	19.46	0.28	19.46	0.28	0.00	0.00
Srpen	19.72	0.28	19.72	0.28	0.00	0.00
Září	20.72	0.30	20.72	0.30	0.00	0.00
Říjen	22.14	0.32	22.14	0.32	0.00	0.00
Listopad	24.98	0.36	24.98	0.36	0.00	0.00
Prosinec	24.98	0.36	24.98	0.36	0.00	0.00

7.6 Cenové porovnání a výpočet návratnosti

Při výběru svítidel se stmíváním je cena svítidla dražší o DALI funkci předřadníku, kdy se k ceně připočítává cena 500kč. Stmívání asymetrických svítidel není uvažováno.

Pokud budu uvažovat s možností stmívání v místnosti, je nutné připočítat řídicí jednotku a případná čidla pro snímání pohybu a osvětlení. Zde je výběr hodně složitý a na trhu je řada výrobců a způsobů, jak tuto funkci ovládat. Já jsem zvolil jednu z jednodušších variant, kdy se umístí 1ks jednotky do místnosti Osram DALI ECO control. K této jednotce je možnost připojení až 4ks senzorů a 32ks předřadníků (LED driverů), tyto hodnoty nám pro 1 místnost vystačí. Jako snímač k této jednotce se bude používat DALI ECO LS/PD LI NP.



Obrázek 74 DALI ECO control [11]

Požizovací cenu jednotky a čidel je nutné připočítat do investičních nákladů.

Místnost	Cena jednotky Kč	Cena čidla Kč	Počet čidel ks	Cena celkem Kč
Učebna	890	568	2	2 026
Kancelář	890	568	1	1 458
Chodba	890	568	3	2 594

Cenové porovnání učebny

Tabulka 18 Cenové porovnání učebny

Učebna:			
Použitá svítidla	Cena 1ks svítidel Kč	Světelné zdroje Kč	Cena svítidel místnost Kč
Lambda 153 D/I	4 565	2x 1530	46 180
Lambda 153 asymetr	3 300		
Sigma LED D/I	7 480	-	70 015
Asymetrical	5 087		

Životnost světelných zdrojů dle výrobce je 24000h, z toho vyplývá přibližná výměna trubic co 10let.

Při porovnání záměny svítidel s trubicemi a LED technologií, počítání se spotřebou elektrické energie svítidel a cenou energie 4,5kč/kW jsme se dostali na hodnotu návratnosti **5,5** roků.

Tabulka 19 Cenové porovnání učebny se systémem DALI

Učebna: (DALI)			
Použitá svítidla	Cena 1ks svítidel Kč	Světelné zdroje Kč	Cena svítidel místnost Kč
Lambda 153 D/I	5 065	2x 1530	50 180
Lambda 153 asymetr	3 300		
Sigma LED D/I	7 980	-	74 015
Asymetrical	5 087		

Tabulka 20 Celková cena DALI

Použitá svítidla	Cena stmívání Kč	Cena svítidel Kč	Cena celkem Kč
Zářivková svítidla	2 026	50 180	52 206
LED svítidla	2 026	74 015	76 041

Porovnání celkové ceny při provozu světelné soustavy za dobu 15 let

Tabulka 21 Vyhodnocení ceny za 15 let

Cena elektřiny za 15 let Kč	Pořizovací cena Kč	Celková cena Kč
166 212	46 180	212 392
97 419	70 015	167 434
71 527	52 206	123 733
41 923	76 041	117 964

Cenové porovnání kanceláře

Tabulka 22 Cenové porovnání kanceláře

Kancelář:			
Použitá svítidla	Cena 1ks svítidel Kč	Světelné zdroje Kč	Cena svítidel místnost Kč
VMR 4x14	4 395	2x 1200	24 375
VMR LED	6 995	-	34 975

Životnost světelných zdrojů dle výrobce je 24000h, z toho vyplývá přibližná výměna trubic co 10let.

Při porovnání záměny svítidel s trubicemi a LED technologií, počítání se spotřebou elektrické energie svítidel a cenou energie 4,5kč/kW jsme se dostali na hodnotu návratnosti **10,5** roků.

Tabulka 23 Cenové porovnání kanceláře se systémem DALI

Kancelář: (dali)			
Použitá svítidla	Cena 1ks svítidel Kč	Světelné zdroje Kč	Cena svítidel místnost Kč
VMR 4x14	4 895	2x 1200	26 875
VMR LED	7 495	-	37 475

Tabulka 24 Celková cena DALI

Použitá svítidla	Cena stmívání Kč	Cena svítidel Kč	Cena celkem Kč
Zářivková svítidla	1 458	26 875	28 333
LED svítidla	1 458	37 475	38 933

Porovnání celkové ceny při provozu světelné soustavy za dobu 15 let

Tabulka 25 Vyhodnocení ceny za 15 let

Cena elektřiny za 15 let Kč	Pořizovací cena Kč	Celková cena Kč
38 273	24 375	62 648
23 237	34 975	58 212
33 721	26 875	60 596
9 969	37 475	47 444

Cenové porovnání Chodba

Tabulka 26 Cenové porovnání Chodby

Chodba:			
Použitá svítidla	Cena 1ks svítidel Kč	Světelné zdroje Kč	Cena svítidel místnost Kč
Alfa WS 2x55W	3 438	2x 1440	23 508
Litecontrol	6 333	-	37 998

Životnost světelných zdrojů dle výrobce je 20000h, z toho vyplývá přibližná výměna trubic co 9let.

Při porovnání záměny svítidel s trubicemi a LED technologií, počítání se spotřebou elektrické energie svítidel a cenou energie 4,5kč/kW jsme se dostali na hodnotu návratnosti 7 let.

Tabulka 27 Cenové porovnání chodby se systémem DALI

Chodba: (dali)			
Použitá svítidla	Cena 1ks svítidel Kč	Světelné zdroje Kč	Cena svítidel místnost Kč
Alfa WS 2x55W	3 938	2x 1440	26 508
Litecontrol	6 833	-	40 998

Tabulka 28 Celková cena DALI

Použitá svítidla	Cena stmívání Kč	Cena svítidel Kč	Cena celkem Kč
Zářivková svítidla	2 594	26 508	29 102
LED svítidla	2 594	40 998	43 592

Porovnání celkové ceny při provozu světelné soustavy za dobu 15 let

Tabulka 29 Vyhodnocení ceny za 15 let

Cena elektřiny za 15 let Kč	Pořizovací cena Kč	Celková cena Kč
60 143	23 508	83 651
26 426	37 998	64 424
39 852	26 508	66 360
17 480	40 998	58 478

8 Závěr

Je hodně způsobů, jak osvětlit vnitřní prostory. Tyto možnosti jsou doprovázeny dodržováním norem pro vnitřní osvětlování, kde jsou dále začleňovány podle činností v dané místnosti. Přesto je stále možnost výběru z velkého druhu typu svítidel a světelných zdrojů. Výběr je často velmi složitý, jak z pohledu splnění stanovené normy pro svítidla, tak z pohledu cenové investice a energetické náročnosti.

Teoretická část diplomové práce je zaměřená na výběr správného svítidla pro osvětlení vnitřních pracovních prostorů. Popisují zde typy možných svítidel jak z pohledu světelných zdrojů, tak z pohledu optických částí a dalších důležitých parametrů svítidel, bez kterých bychom návrhy osvětlení dělat nemohli.

V návaznosti na teoretické kapitoly a vlastní praktickou zkušenost jako světelný technik ve firmě Inge, která vyrábí interiérová svítidla, jsem navrhoval osvětlení pro školní budovu Slezské univerzity v Opavě. V této budově zrovna probíhala rekonstrukce a firma Inge byla vybrána jako dodavatel svítidel. Část výpočtů jsem využil v mé diplomové práci. Vytipoval jsem 3 různé místnosti, ve kterých jsem provedl výpočet denního osvětlení a výpočet umělého osvětlení se svítidly s trubicemi T5 a LED svítidly. Výpočty jsme prováděli v programu DIALux. Tento program nám dokázal i energeticky zhodnotit, tedy vypočítat spotřebu elektrické energie za rok pro danou místnost. Dále jsem navrhl pro tyto konkrétní místnosti a svítidla inteligentní jednotky a senzory, kterými dokážeme snížit světelný tok a tedy i spotřebu s ohledem na denní světlo, které se do místnosti dostává přes okna.

Tento výpočet jsem si i ověřil měřením, protokol o měření je součástí přílohy. Protokol obsahuje více místností, které byly součástí měření. Místnosti, které jsou ve výpočtu: učebna- 215, kancelář-417, chodba-319. Naměřené hodnoty jsou vyšší oproti vypočteným, to je převážně způsobeno nastavení udržovacího činitele ve výpočtu.

Do všech místností jsem navrhl osvětlení se zářivkovými svítidly a LED svítidly. Záměnou svítidel se zářivkovými trubicemi za LED svítidla ušetříme elektrickou energii, protože trubice má měrný výkon do 106lm/W a LED zdroje až 155lm/W, dále svítidla s LED zdroji mají většinou vyšší účinnost. Tyto výhody LED zdrojů nám snižují spotřebu elektrické energie při stejném světelném toku ze svítidla. Ale bohužel LED technologie je zatím cenově vyšší oproti svítidlům se zářivkovými zdroji. Proto jsme zjišťovali, zda a kdy se nám vrátí investice do svítidel LED. Dále jsem spočítal spotřebu elektrické energie a investici pokud bychom místnost se svítidly vybavili řídicím systémem.

Nakonec jsem vypočetl, jak vysoká by byla investice a kolik by stála elektrická energie za 15let. Zde vidíme, že při používání svítidel minimálně 15 let se nám vyplatí investovat do řídicího systému a LED svítidel. Bohužel je pro investory často počáteční investice vysoká. Proto volí osvětlení s menšími pořizovacími náklady, jako tomu bylo i u realizace osvětlení mnou počítané školní budovy.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Změna osvětlenosti v průběhu života osvětlovací soustavy. [28]	6
Obrázek 2 Kruithofův diagram [5]	8
Obrázek 3 Rozdělení světelných zdrojů.	12
Obrázek 4 Žárovka [9].....	13
Obrázek 5 Halogenová žárovka [9]	13
Obrázek 6 Průměr trubice.....	14
Obrázek 7 Zářivky[10].....	15
Obrázek 8 Kompaktní zářivky[11].....	15
Obrázek 9 Rozdělení LED	16
Obrázek 10 COB LED [12]	16
Obrázek 11 SMD LED [13].....	17
Obrázek 12 LED Trubice [14].....	17
Obrázek 13 LED Modul Osram 270x270 [11]	17
Obrázek 14 LED modul Osram 280mm [11]	18
Obrázek 15 LED CREE XT-E [15]	18
Obrázek 16 Rozdělení vyzařování světelného toku svítidel	19
Obrázek 17 křivka svítivosti svítidla [16].....	19
Obrázek 18 Svítidla Kvadra 53W [16]	19
Obrázek 19 Křivka svítivosti svítidla [16].....	20
Obrázek 20 Svítidlo Delta T [16]	20
Obrázek 21 Křivka svítivosti svítidla [17].....	20
Obrázek 22 Svítidlo LUNEA Rendl [17].....	20
Obrázek 23 Křivka svítivosti svítidla [16].....	21
Obrázek 24 Svítidla ALFA [16]	21
Obrázek 25 Usměrnění světelného toku [2].....	21
Obrázek 26 Rozdělení optických částí.....	22
Obrázek 27 Parabolická mřížka [16]	22
Obrázek 28 porovnání parabolických mřížek [19]	23
Obrázek 29 Svítidlo s dvojitou parabolickou mřížkou [16].....	23
Obrázek 30 Prostup světla mikropyramidovým krytem [2].....	24
Obrázek 31 Třída ochrany 0 [21].....	25
Obrázek 32 Třída ochrany 1 [21]	25
Obrázek 33 Schématická značka zemnění [21]	25
Obrázek 34 Schématická značka třídy ochrany 2 [21]	25
Obrázek 35 Třída ochrany 2 [21].....	25
Obrázek 36 Schématická značka třídy ochrany 3 [21]	26
Obrázek 37 Třída ochrany 3 [21].....	26
Obrázek 38 Rozdělení osvětlení [9].....	27
Obrázek 39 Stanovení osvětlenosti bodovou metodou v bodě obecné roviny [8]... ..	29
Obrázek 40 Stanovení osvětlenosti bodovou metodou [8]	30
Obrázek 41 Principy stmívání Obrázek 42	32
Obrázek 43 LEDdriver MW HLG s e stmíváním 1-10V [24]	32
Obrázek 44 zapojení stmívání 1-10V [18].....	33
Obrázek 45 Zapojení svorkovnice 1-10V [11]	33
Obrázek 46 Možnost použití 5 žilového kabelu v rozvodech [9]	34

Obrázek 47 Zapojení svorkovnice DALI [9]	34
Obrázek 48 zapojení stmívání DALI [18]	35
Obrázek 49 Svítidlo se senzorem [26]	35
Obrázek 50 Svítidlo se senzorem [25]	35
Obrázek 51 Osram DIM PICO umístění na trubici stmívání 1-10V [9]	36
Obrázek 52 Luxmate Professional [29]	37
Obrázek 53 návrh rozmístění čidel na chodbě [31]	38
Obrázek 54 Čidlo Osram LS/PD LI pro snímání pohybu a osvětlení [9]	38
Obrázek 55 Porovnání spotřeby předřadníků [18]	39
Obrázek 56 půdorys učebny	40
Obrázek 57 Sigma LED D/I Obrázek 58 Lambda 153 D/I	41
Obrázek 59 Výpočet denního osvětlení	42
Obrázek 60 Výpočet umělého osvětlení s trubicovými svítidly	42
Obrázek 61 Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly	43
Obrázek 62 Půdorys kanceláře	44
Obrázek 63 VMR LED Obrázek 64 VMR 4x14	44
Obrázek 65 výpočet denního osvětlení	45
Obrázek 66 Výpočet umělého osvětlení s trubicovými svítidly	45
Obrázek 67 Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly	46
Obrázek 68 ALFA WS Obrázek 69 Litecontrol	47
Obrázek 70 Půdorys chodby	47
Obrázek 71 Výpočet denního osvětlení	48
Obrázek 72 Výpočet umělého osvětlení s trubicovými svítidly	48
Obrázek 73 Výpočet umělého osvětlení s LED svítidly	49
Obrázek 74 DALI ECO control [11]	56

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Stupně ochrany svítidel.....	24
Tabulka 2 Hodnoty osvětlení a rovnoměrnosti [1]	40
Tabulka 3 Porovnání osvětlení učebny	43
Tabulka 4 Porovnání osvětlení kanceláře	46
Tabulka 5 porovnání osvětlení na chodbě	49
Tabulka 6 výsledky energie pro učebnu s trubicemi	50
Tabulka 7 výsledky energie pro učebnu s LED	51
Tabulka 8 výsledky energie pro učebnu s trubicemi a stmíváním	51
Tabulka 9 výsledky energie pro učebnu s LED a stmíváním	52
Tabulka 10 výsledky energie pro kancelář s trubicemi.....	52
Tabulka 11 výsledky energie pro kancelář s LED	53
Tabulka 12 výsledky energie pro kancelář s trubicemi a stmíváním	53
Tabulka 13 výsledky energie pro kancelář s LED a stmíváním	54
Tabulka 14 výsledky energie pro chodbu s trubicemi	54
Tabulka 15 výsledky energie pro chodbu s LED	55
Tabulka 16 výsledky energie pro chodbu s trubicemi a stmíváním.....	55
Tabulka 17 výsledky energie pro chodbu s LED a stmíváním	56
Tabulka 18 Cenové porovnání učebny	57
Tabulka 19 Cenové porovnání učebny se systémem DALI.....	57
Tabulka 20 Celková cena DALI	57
Tabulka 21 Vyhodnocení ceny za 15 let.....	58
Tabulka 22 Cenové porovnání kanceláře.....	58
Tabulka 23 Cenové porovnání kanceláře se systémem DALI.....	58
Tabulka 24 Celková cena DALI	58
Tabulka 25 Vyhodnocení ceny za 15 let.....	59
Tabulka 26 Cenové porovnání Chodby	59
Tabulka 27 Cenové porovnání chodby se systémem DALI	59
Tabulka 28 Celková cena DALI	59
Tabulka 29 Vyhodnocení ceny za 15 let.....	60

11 Použité zdroje

- [1] ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov.
Část 1: základní požadavky
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Článek Umělé osvětlení z pohledu projektanta Ing. Viktor Zwiener, Ph.D.
dostupný na webu
<http://atelier-dek.cz/umele-osvetleni-z-pohledu-projektanta-203>
- [4] Sokanský K.: Světelná technika ČVUT, Praha 2011
- [5] Kruithofův Diagram
<http://www.lamptech.co.uk/Documents/FL%20Colours.htm>
- [6] Denní osvětlení doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D.
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/denni-osvetleni-obytnych-mistnosti--15411>
- [7] Článek Potenciál úspor energie ve vnitřním osvětlení při využití denního světla Ing. Jan Šumpich, Ing. Tomáš Novák, Ph.D., Ing. Zbyněk Carbol, prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Dostupné z webu:
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/potencial-uspor-energie-ve-vnitrim-osvetleni-pri-vyuziti-denniho-svetla--611>
- [8] DENNÍ A SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ skripta Univerzity Tomáše Bati

Dostupné z webu: ufmi.ft.utb.cz ustav fyziky a materiálového inženýrství
- [9] Obrázek dostupný z <http://cs.wikipedia.org/>
- [10] Obrázek dostupný z <http://shop.halla.cz/>
- [11] Článek dostupný ze stránek www.osram.cz
- [12] Obrázek dostupný ze stránek <http://ce.citizen.co.jp/>
- [13] Obrázek dostupný ze stránek www.samsung.com
- [14] Obrázek dostupný ze stránek <http://www.prima-led.cz/>
- [15] Obrázek dostupný ze stránek www.cree.com
- [16] Obrázek dostupný z katalogových listů svítidel firmy Inge spol.s.r.o.
- [17] Obrázek dostupný z katalogových listů firmy Rendl

- [18] Popis optických mřížek a krytů, stmívání
Dostupný na <http://www.elkovo-cepelik.cz/>
- [19] Obrázek dostupný na www.sdplastics.com
- [20] Mechanická odolnost, článek dostupný na www.gigalighting.cz
- [21] Třídy ochran elektrických přístrojů Ing Jaromír Tyrbac.
dostupné na webu <http://web.telecom.cz/>
- [22] Umělé osvětlení vnitřního prostředí Ing. Henrietta PŘIBÁŇOVÁ, MUDr.
Ariana LAJČÍKOVÁ, CSc. Článek dostupný na webu <http://www.tzb-info.cz/>
- [23] Udržovací činitel světelné soustavy
<http://www.top-osvetleni.cz/navrhy-osvetleni/profesionalni-navrhy-osvetleni/446-udrzovaci-cinitel-svetelne-soustavy>
- [24] Obrázek dostupný na webu www.meanwell.com
- [25] Obrázek dostupný na webu <http://www.regiolux.de>
- [26] Obrázek dostupný na webu www.elektro-hofman.cz
- [27] Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov.
prof. Ing. K. Sokánský CSc. a kolektiv
- [28] Udržovací činitel světelné soustavy
- [29] Obrázek a popis dostupný na webu <http://www.zumtobel.com/>
- [30] Systémy řízení umělého osvětlení v závislosti na denním osvětlení
Článek dostupný na <http://www.lightservis.cz/>
- [31] Obrázek dostupný na webu www.e-light.cz

12 Seznam příloh

Příloha 1	Tištěná, na CD Výpočet učebny
Příloha 2	Tištěná, na CD Výpočet kanceláře
Příloha 3	Tištěná, na CD Výpočet chodby
Příloha 4	Tištěná, na CD Katalogové listy použitých svítidel
Příloha 5	Tištěná, na CD Měření osvětlení SLU Opava